

Geotermia por agua y aire en edificios escolares y culturales, calidad ambiental y eficiencia energética en ventilación y climatización

Luis de Pereda Fernández; arquitecto, Director de Proyectos de ENERES, Sistemas Energéticos Sostenibles.

Teatro Infantil del Ayuntamiento de Madrid en la rehabilitación del Cuartel de Daoíz y Velarde

El del los edificios de uso infantil es un ámbito extraordinariamente delicado para cualquier intervención, incluidas las orientadas a mejorar la eficiencia energética.

Cuando proyectamos un sistema energético no lo hacemos para un edificio, ni para cumplir con las exigencias de un cuerpo normativo, lo hacemos para sus usuarios. Cuando proyectamos un edificio eficiente lo hacemos para conseguir un óptimo en el equilibrio entre los costes soportados a lo largo de su ciclo de vida y las prestaciones que aporta a sus usuarios. Cuando proyectamos edificios concebidos como sistemas energéticos para los niños que estudian y juegan dentro de ellos y entorno a ellos, trabajamos para uno de los grupos más apasionantes y sensibles de nuestra población.

Los niños desarrollan, por su propia condición fisiológica, por su potente ritmo metabólico, por sus características físicas y por las condiciones en las que interaccionan entre ellos, con otras personas y con distintos elementos y dispositivos, en el contexto de distintos campos de actividad, una tasa de intercambio físico, químico y energético con el

medio muy superior al de los adultos. Por ello la calidad ambiental del medio en el que desarrollan su actividad es, más que fundamental, crítica para garantizar el equilibrio y la armonía en su desarrollo y en la progresión en las actividades vinculadas a su trabajo y a su formación.

Los niños respiran mucho más aire por Kg. de masa corporal que un adulto, tienen mucha mas superficie de piel en contacto con el medio que un adulto, su ritmo metabólico y por lo tanto la velocidad de asimilación de cualquier elemento con el que interactúan es mucho más rápido que el de la población adulta, se mueven y respiran mucho mas cerca del suelo que los adultos. En ellos los factores relativos a la iluminación, la temperatura y la ventilación influyen directamente sobre la productividad, la salud, el confort y el absentismo.

Todos los padres sabemos hasta qué punto la alta densidad de ocupación de las aulas y la intensa interacción entre los niños, que tienen además una actitud mucho menos restringida y desinhibida respecto a la interacción multisensorial con otros niños, tocar y tocarse, chupar, comer y compartir; son factores que

propician y provocan la rápida y efectiva transmisión de todo tipo de factores biológicos entre individuos incluyendo los patógenos. Luego estamos trabajando para individuos que por su propia condición dinámica y por el medio y el contexto de su interacción, capturan y transmiten con gran facilidad todo lo que les rodea, y asimilan y reaccionan con gran sensibilidad a todo lo que les afecta. Y todo esto además en el contexto de un proceso muy trascendente para toda la sociedad como es la educación y la formación.

Por otro lado los costes energéticos ligados a la explotación de los centros escolares suponen una carga económica muy importante, la tercera tras las instalaciones y los sueldos de profesores y empleados, y más que los libros y los ordenadores juntos; cuya reducción debe permitir redirigir valiosos recursos hacia la mejora de las instalaciones, la mejora de los sueldos de los profesores, del material y los libros, entre otros.

La utilización inteligente de los recursos bioclimáticos adecuados al emplazamiento de los edificios y una concepción más eficiente de su envolvente son claves para reducir la demanda energética. La utilización de sistemas eficientes y equilibrados de generación y transmisión de energía al medio de actividad, la utilización de equipos eficientes y la implementación de programas de operación y mantenimiento para la eficiencia permitirán cubrir esa demanda energética con el menor coste. La reducción de los costes operativos imputables a la energía permite atenuar el impacto en la planificación presupuestaria de las variaciones de su precio, permanentemente al alza. Invertir en eficiencia energética permite estabilizar los costes energéticos a medio y largo plazo y planificar sin sobresaltos.

Los costes de construcción de una escuela eficiente no son superiores a los de una escuela típica con prestaciones equivalentes. Estamos acostumbrados a pensar que la eficiencia energética cuesta más a causa del cúmulo de percepciones equivocadas sobre lo que es eficiencia y sostenibilidad en la edificación, a las que en buena parte nos ha inducido una política de "renovables" asociada a la idea de añadir equipos de generación, a veces incluso redundantes, a los edificios y no a la concepción integral, desde el origen, de edificios ahorradores y eficientes en sus prestaciones,

que es lo que resulta finalmente viable y rentable desde el estudio inicial de viabilidad técnico económica hasta los costes de operación y mantenimiento a lo largo de todo el ciclo de vida.

En este artículo vamos a exponer las posibilidades de aplicación y las prestaciones que, en términos de interacción con los usuarios, calidad ambiental y reducción de demanda energética y costes, supone la utilización en edificios escolares eficientes de los sistemas de intercambio geotérmico:

- Intercambio tierra-aire, para el pretratamiento térmico del aire en un sistema eficiente de ventilación.
- Utilización integrada de la masa construida de los edificios como dispositivo radiante de climatización, termoactivo, y del terreno como acumulador de energía, mediante dispositivos de intercambio geotérmico por agua y bomba de calor geotérmica.

El intercambio geotérmico permite resolver con enorme eficiencia energética, los dos vectores fundamentales del confort y la salud en los centros escolares, la calidad del aire y la climatización.

I. Calidad del aire en los centros escolares

La necesidad de ventilación y climatización eficientes.

La mayoría de la gente sabe que la contaminación atmosférica al aire libre puede dañar su salud pero no sabe que la contaminación del aire en los espacios interiores puede también tener un impacto muy significativo. Los niveles de agentes contaminantes en espacios interiores pueden ser de 2 a 5 veces superiores que al aire libre.

La buena calidad del aire interior en las escuelas es un componente fundamental para conseguir un ambiente interior sano. Un ambiente que contribuya a la mejora del aprendizaje de los estudiantes, a la mejora de la productividad de los profesores y del personal, y a una sensación general de confort, salud y bienestar.

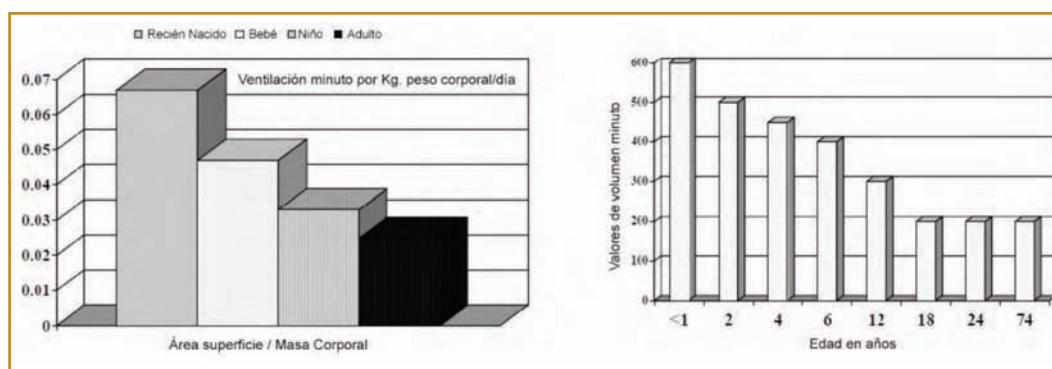


Fig. 1. Ventilación en relación a la masa corporal y demanda de oxígeno en los diferentes Grupos de edad infantil. Interacción con el medio a través del aire.

Una buena gestión de la calidad del aire interior incluye el control de los agentes contaminantes, de la introducción y distribución interior de la cantidad adecuada de aire de renovación, y el mantenimiento de una temperatura y un grado de humedad adecuados.

La temperatura y la humedad son también muy importantes porque los aspectos relativos al confort térmico son la base de muchas quejas sobre la baja calidad del aire. La temperatura y la humedad pueden también afectar a los niveles de contaminación interior.

La falta de respuesta rápida y eficiente a los problemas de calidad del aire interior tiene consecuencias adversas sobre la salud, el coste económico, y la calidad del proceso educativo. Los niños pueden ser especialmente susceptibles a la contaminación ambiental ya

que la misma concentración de agentes contaminadores puede dar lugar a una concentración corporal más alta en los niños que en los adultos porque:

- Los niños respiran un mayor volumen de aire en proporción a su masa corporal, según una tasa que va descendiendo desde el nacimiento a la madurez, y que en un periodo intermedio está en torno a 1,5 veces por Kg. de masa corporal, que un adulto.
- Consumen más alimentos y agua en relación su peso corporal. Los niños de uno a cinco años comen de tres a cuatro veces más alimentos por Kg. de peso que un adulto medio.
- Los cuerpos de los niños tienen, proporcionalmente, más superficie corporal y absorben más elementos tóxicos. Los niños pro-

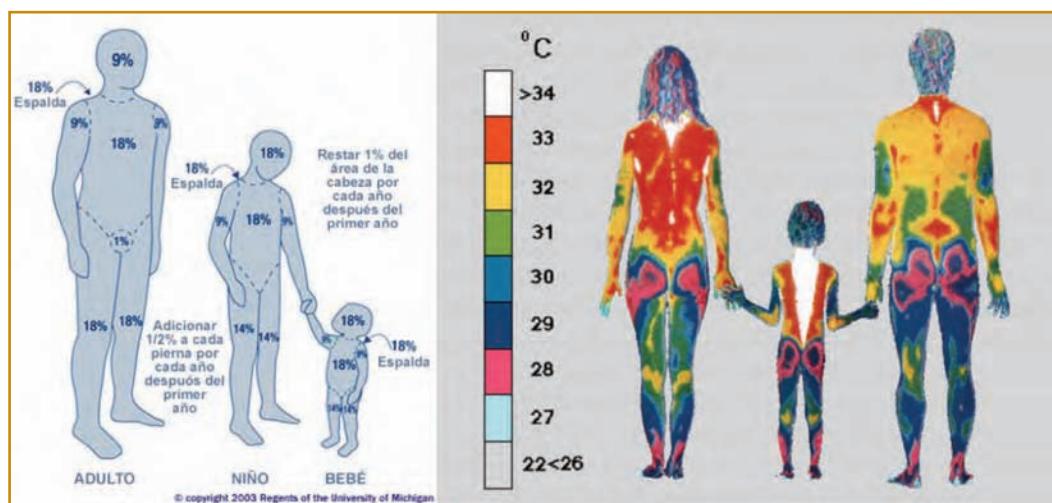
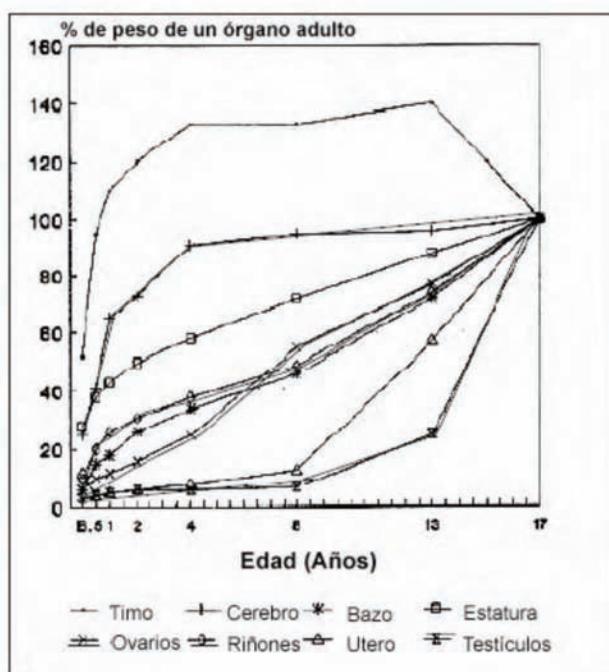


Fig. 2. Superficie corporal relativa y radiación térmica superficial de adultos y niños. Interacción con el medio conductiva, convectiva y radiante.

**Crecimiento de los órganos vitales**

- Cerebro
- Pulmones
- Riñones
- Órganos reproductores

Función fisiológica

- Sistema nervioso central
- Sistema inmunológico
- Sistema endocrino

Fig. 3. Velocidad de crecimiento, y trayectoria en el crecimiento, de los órganos principales del niño. Durante el proceso de crecimiento y maduración fisiológica la interacción física con el medio es un factor determinante en la calidad del desarrollo físico y en la proyección en el tiempo de la salud del individuo.

ducen más calor por unidad peso corporal que los adultos, y su sistema termorregulador no es tan bueno. Su piel está a mayor temperatura y sin embargo sudan menos. Por ejemplo, un niño de 12 años puede sudar 400ml por metro cuadrado de piel por hora, comparado a los 800ml / m² hora de un hombre del adulto. Los niños también tienden a tener temperaturas de piel más altas, que obstaculizan el flujo del calor desde el interior del cuerpo hacia a la superficie. Sin embargo, los niños tienen un área superficial de piel proporcionalmente mayor, cuanto más pequeños son. Un adulto joven que pesa 64kg tendrá un área superficial de cerca de 1.80 metros cuadrados, a los ocho años con 25kg de peso tendrán un área de piel de 0.95 metros cuadrados, es decir un 36 por ciento más área superficial por unidad del peso. Esto ayuda a corregir desequilibrios térmicos, pero puede ser una desventaja al exponerse al sol, nadar en agua fría, o recibir un flujo térmico irregular procedente de un sistema de climatización o una envoltura inadecuada, con la posibilidad de un índice más rápido de recalentamiento o de sobre-enfriamiento.

■ El cerebro y los órganos de los niños pueden absorber y asimilar muchos más agentes contaminantes, que en el caso de un adulto.

Estos patrones de consumo creciente corresponden al metabolismo acelerado de los niños. La consecuencia en términos de salud ambiental es que los niños tendrán una tasa sustancialmente mayor de afección que un adulto a la exposición a cualquier toxina que esté presente en el agua, los alimentos, o el aire.

Los procesos metabólicos de los niños no son maduros, comparados con los de los adultos. Los niños están experimentando crecimiento y desarrollo rápidos, y sus procesos se interrumpen fácilmente. De hecho, el desarrollo del sistema nervioso continúa durante toda la niñez, como evidencia el hecho de que los niños continúan adquiriendo nuevas habilidades progresivamente mientras que crecen y se desarrollan, arrastrándose, andando, hablando, leyendo, y escribiendo. El sistema nervioso no puede reparar bien ningún daño estructural causado por las toxinas ambientales. Las consecuencias pueden ser la pérdida de inteligencia y la alteración del comportamiento normal. Los niños al tener más años de esperanza de vida que la mayoría de los adultos, tienen más tiempo para desarrollar las enfermedades crónicas que se pueden desencadenar por exposiciones ambientales tempranas. Muchas enfermedades, como el parkinson o la leucemia, que son accionadas por toxinas en el ambiente requieren décadas para desarrollarse y manifestarse.

Los niños pasan más tiempo en condiciones de exposición:

- A los agentes contaminantes, del medio, equipos, vehículos, etc.
- Cerca o en el suelo, donde los niveles de los agentes contaminantes pueden ser más altos.
- En situaciones de comportamiento promiscuo y en contacto desinhibido con otros niños.
- Introduciendo los dedos y los objetos sucios en su boca, que es un mecanismo de reconocimiento del medio natural en ellos.

Además de los aspectos físicos y fisiológicos, hay aspectos ambientales singulares en las escuelas y centros educativos:

- Los usuarios de las escuelas se concentran con altas densidades de ocupación. Una escuela típica tiene una densidad de ocupación que se sitúa entre la de una prisión y la de la cabina de un avión de pasajeros, con cerca de cuatro veces más usuarios que un edificio de oficinas con la misma superficie y volumen.
- En las escuelas existe una amplia variedad de fuentes potenciales de agentes contaminantes, incluyendo materiales para actividades artísticas y científicas, productos industriales, de limpieza, gases procedentes de calderas, cocinas y autobuses, contaminantes biológicos de suelos, moquetas, gases, partículas y condensación de equipos y materiales, partículas en suspensión, componentes volátiles, etc.

El incremento de la tasa de renovación de aire interior para garantizar la calidad ambiental de las escuelas puede provocar un incremento proporcional en la cantidad de energía consumida y en los costes de la climatización, y generar problemas de control de la humedad en determinadas condiciones climáticas.

Previa a cualquier medida activa orientada a la eficiencia energética está la adecuada concepción pasiva de los edificios respecto a su capacidad bioclimática, el aislamiento y la estanqueidad de su envolvente. Posterior a la aplicación de medidas activas es la implementación de planes efectivos de Operación y Mantenimiento, O&M, que garanticen el funcionamiento de las escuelas según los escenarios de máxima calidad

ambiental y eficiencia energética a lo largo de todo su ciclo de vida.

En lo que respecta a los medios activos, hay tres medidas, básicas para controlar ambos factores, calidad del aire y humedad, optimizando la calidad ambiental y el rendimiento energético:

- La utilización de sistemas de Volumen de Aire Variable, VAV, que ajustan el volumen de renovación de modo variable y en función de la calidad, medida, del aire interior.
- La aplicación de sistemas de recuperación de energía en la renovación de aire y la ventilación, mediante tecnologías de intercambio eficientes que permiten recuperar hasta un 90% de la energía del aire expulsado, lo que supone hasta un 25% del total de la energía utilizada en la climatización.
- El pretratamiento y acondicionamiento del aire exterior, especialmente durante las condiciones extremas del invierno y el verano, permite conseguir ahorros energéticos muy importantes. La utilización de los sistemas enterrados de transferencia geotérmica de energía para el pretratamiento

2. El pretratamiento del aire de renovación con intercambiadores geotérmicos tierra-aire. Eficiencia energética en la ventilación y calidad del aire.

Los intercambiadores geotérmicos entre el aire de renovación y el terreno son dispositivos que aprovechan la capacidad térmica de los suelos para el acondicionamiento térmico del aire de aportación. En medios como el escolar, que como hemos visto demanda una excelente ventilación para asegurar la calidad del aire, este pretratamiento térmico permite enormes ahorros energéticos y económicos, entre el 20 y el 25% el toral de energía y costes asociados a la climatización.

La tierra a dos metros de profundidad, tiene una temperatura prácticamente constante a lo largo del año, varía entre 10 y 20°C según las temporadas, mientras que el aire exterior puede variar de -5°C a +37°C en la mayoría de

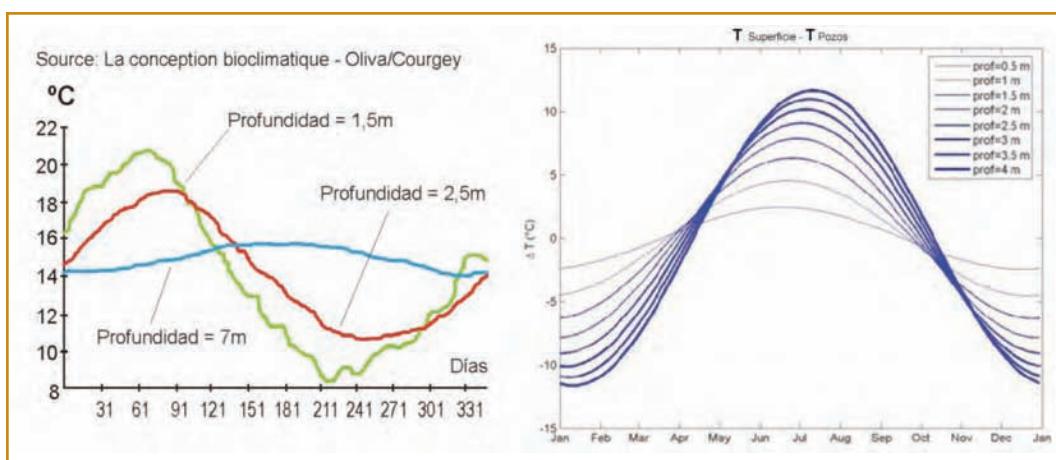


Fig. 4. Temperaturas del terreno a distintas profundidades a lo largo del año y distribución anual de la ganancia térmica en el intercambiador geotérmico tierra/ aire (T exterior – T salida intercambiador).

los climas españoles. Un intercambiador tierra/aire va a explotar esta condición de temperatura constante: el aire, en vez de introducirse en el edificio directamente desde el exterior, va a circular a través un colector enterrado, en contacto con el suelo para intercambiar sus calorías. El objetivo que es que el aire a la salida del colector esté a una temperatura próxima a la del terreno.

Todos los suelos no permiten el mismo rendimiento: cuanto más denso y húmedo sea el terreno y más importante será el intercambio. Las dimensiones de intercambiador tierra/aire son pues función de las condiciones y demandas de ventilación calculadas para el edificio, y de la capacidad térmica del suelo.

2.1. Funcionamiento en invierno

En cualquier edificio escolar, el hecho de ventilar supone importantes gastos de energía. El intercambiador tierra/aire va sustituir a los sistemas improvisados o pasivos, apertura indiscriminada de ventanas, o rejillas de ventilación en las carpinterías, y a conducir por medio de una red de distribución de aire conectada al colector enterrado un aire más caliente en invierno que el aire exterior. El suministro de aire al edificio se resuelve por medios mecánicos, por medio de un ventilador, y se acciona cuando la calidad del aire interior exige aportes complementarios de aire exterior para la renovación. El pretratamiento geotérmico permite disminuir el impacto de la ventilación en los consumos de calefacción.

Los ahorros son función de las características de los edificios (edificio antiguo o reciente, nuevo edificio o rehabilitación) y del método de difusión del calor (convección o radiación). Trabajando con sistemas radiantes de difusión de calor el intercambiador geotérmico tierra/aire, IGTA, va a tener un consumo eléctrico ridículo y recupera por término medio 10 veces más energía de la que consume. No obstante, el interés de su aplicación varía según la localización climática del proyecto:

- En zonas de climas mediterráneos, oceánicos y semicontinentales, las temperaturas exte-

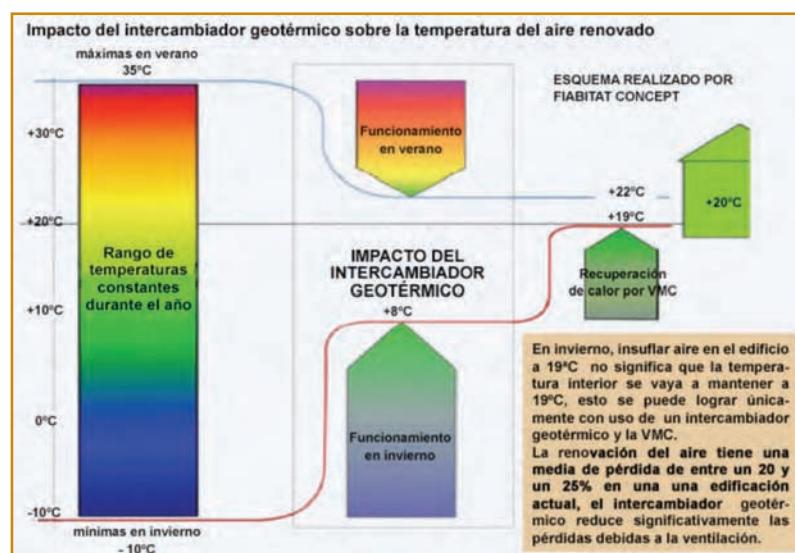


Fig. 5. Efecto del intercambiador geotérmico tierra/aire sobre la temperatura del aire de renovación. La ganancia térmica en invierno y verano oscila entre 13 y 18 °C en las bandas extremas de temperatura. La recuperación de energía con sistemas VMC de doble flujo permite en invierno un aporte complementario muy significativo.

riores siguen siendo a menudo moderadas en invierno. El diferencial temperatura del suelo - temperatura del aire exterior, es pocas veces superior a 10°C. El IGTA no es siempre una solución ideal para el precalentamiento. Si el sistema de calefacción es convectivo el intercambiador tierra/aire podrá no obstante disminuir sensiblemente la potencia y el consumo del equipo de calefacción.

- En climas continentales, el diferencial temperatura del suelo - temperatura del aire exterior es a menudo superior a 10°C. Un sistema de ventilación eficaz es pues una necesidad. El intercambiador tierra/aire puede acoplarse a una Ventilación Mecánica Controlada, VMC, de doble flujo, con recuperación de energía, para reducir el impacto de la ventilación en los consumos energéticos.

2.2. Funcionamiento en verano

El verano, el intercambiador se aplicará al refrescamiento del aire de aportación. La aportación de aire a 20°C en los edificios permite limitar la subida de las temperaturas y evita el recurso a un sistema de climatización. El intercambiador tierra/aire es el único medio de ventilación pasivo que permite la refrigeración. No es necesario modificar la instalación de invierno para que funcione en verano.

La tecnología del intercambiador geotérmico tierra/aire, IGTA, presenta numerosas ventajas sobre la climatización mecánica: consume diez veces menos energía, no disminuye la higrometría, y no reseca el aire (la sequedad provoca irritación de las mucosas, que no filtran adecuadamente los gérmenes).

La efectividad estival del IGTA va a depender de la temperatura de partida del aire, pues la tasa de intercambio es proporcional a la diferencia de temperatura con el terreno. Si ésta es de 15°C, el impacto del intercambiador en el enfriamiento será menor que si la parte es de 30°C. El interés del IGTA en verano depende plenamente pues del clima de la zona en la que está el edificio al que se aplica:

- En los climas oceánicos y continentales, las temperaturas exteriores siguen siendo a menudo moderadas en verano. El diferencial temperatura del suelo - temperatura del aire exterior es pocas veces superior a 10°C. El intercambiador no es imprescindible ya que existe medios pasivos para evitar el recalentamiento del edificio.
- En los climas mediterráneos, las temperaturas exteriores son a menudo incómodas en verano. El diferencial temperatura del suelo

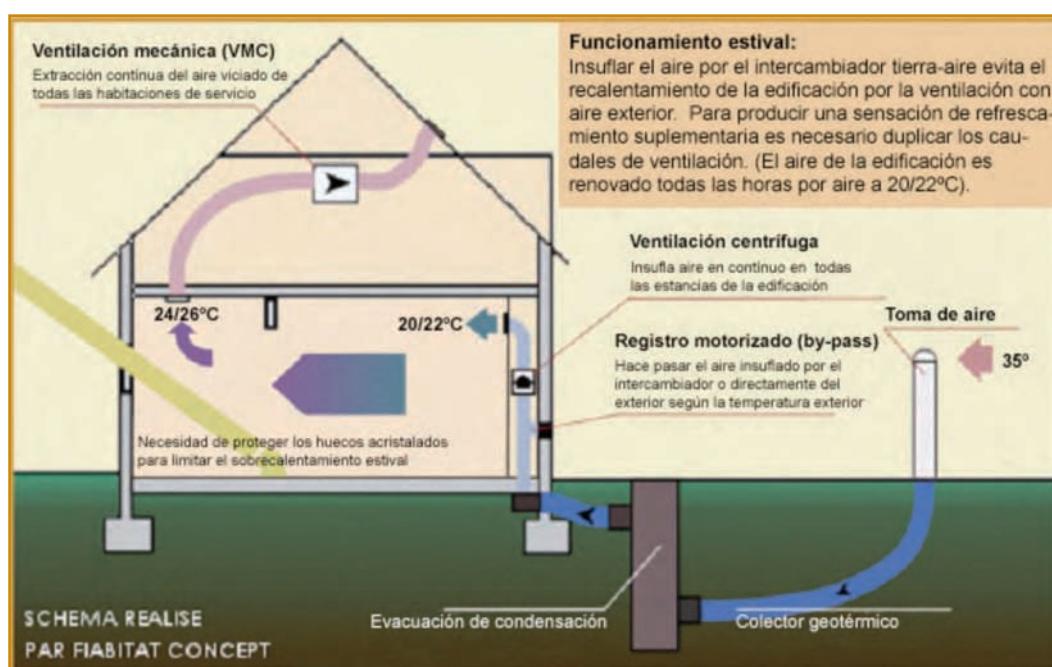


Fig. 6. Funcionamiento estival del sistema de pretratamiento de aire de renovación con intercambiador geotérmico tierra/aire acoplado a un sistema de ventilación mecánica controlada

- temperatura del aire exterior es a menudo superior a 10°C. Es difícil mantener un ambiente confortable sin IGTA. El aire que llega por el intercambiador tiene una temperatura moderada, pero es necesario dimensionar el intercambiador para el refrescamiento del edificio y combinarlo con un sistema de ventilación nocturna.

Por tanto, el IGTA no es sólo una miniclimatización, además resuelve el problema del recalentamiento de los edificios que se produce cuando se realiza una ventilación constante y directa con aire exterior. Un edificio constantemente ventilado mediante un IGTA ve sus curvas de temperatura interior considerablemente amortiguadas con relación al mismo edificio ventilado en un día de calor veraniego con el aire exterior. Si se resuelve un adecuado control de las contribuciones solares de los acristalamientos y se gestionan adecuadamente los aportes y ganancias internos el aporte de temperatura al edificio entre la mañana y la noche, es de 2 o 3°C como máximo.

No es el hecho de introducir aire frío lo que refresca el edificio, es el hecho de no aportar aire caliente en la renovación.

2.3. Componentes del intercambiador geotérmico tierra/aire

Los componentes básicos de una instalación de intercambio geotérmico tierra/aire son:

2.3.1. El terminal de toma de aire

Es el elemento por el cual vuelve a entrar el aire entra al circuito de intercambio el aire que va a aportarse al edificio. Se sitúa en la salida de circuito. La mayoría de las tomas de aire disponibles en el comercio son elementos

completos que incluyen las distintas protecciones necesarias para un buen funcionamiento del intercambiador; a saber:

Una rejilla de malla fina, cuyo objetivo es impedir los pequeños roedores penetrar en el colector. Aletas orientadas, o un sombrero de protección, cuyo objetivo consiste en impedir la entrada en el colector de agua de lluvia vertical o del viento. - Una prefiltración, de dimensión de la malla G2 a G4, para limitar el atascamiento del colector por polvo exterior.

2.3.2. La canalización del colector térmico

El diámetro de los conductos del intercambiador viene determinado por el caudal de aire requerido para la ventilación. En general entre 160 mm y 250 mm de diámetro interior. Un diámetro superior no permite un intercambio uniforme (bueno perimetral, malo en el centro), un diámetro inferior es insuficiente para ventilar un edificio escolar.

Para un intercambio óptimo, la velocidad del aire en el colector no sobrepasa la velocidad de 2/3 m/s, cuanto mayor sea la velocidad menos tiempo de contacto y menos intercambio térmico para calentar o enfriar el aire. El colector es el elemento más importante del sistema de IGTA puesto que es el que va a intercambiar calorías con el suelo en el cual está enterrado.

La elección del material va a tener en cuenta numerosos parámetros:

- La aplicación del conducto, la ejecución de la obra y las características de la excavación y el relleno.
- La duración de vida del conducto y su estanqueidad: Para garantizar una calidad de aire que no disminuya con el envejecimiento del



Fig. 7. Detalles de la toma de aire de un intercambiador geotérmico tierra/aire.

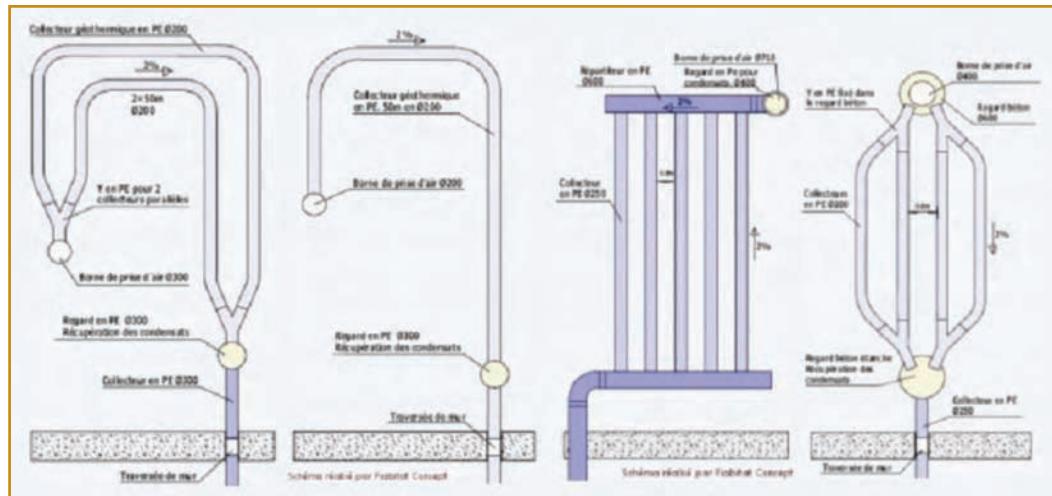


Fig.8. Variantes de circuitos de colectores de intercambio geotérmico tierra/aire

conducto, es necesario estudiar el conducto y sus juntas para aplicar un sistema que:

- Sea perfectamente estanco al agua, en el momento de su aplicación, y durante toda la utilización del intercambiador.
- Tenga capacidad para soportar las cargas debidas a la profundidad del conducto.
- Sea estanco al aire, e impermeable a las infiltraciones de radón viniendo del suelo.

2.4. El circuito del intercambiador

El trazado del circuito del intercambiador depende del terreno y de sus requerimientos. En las nuevas construcciones, hay que

aprovechar el movimiento de tierras de las cimentaciones para reducir los costes de nivelación.

Se puede también reducir la longitud de las zanjas haciendo redes de conductos paralelos. Como la canalización y el intercambio térmico del aire se realiza en todos los conductos, puede reducirse el diámetro de éstos y se mejora la transferencia de calor.

Es necesario evitar los codos ya que producen un aumento de las pérdidas de carga. El trayecto debe ser función de la altimetría del terreno para reducir la cantidad de tierra que debe desplazarse.

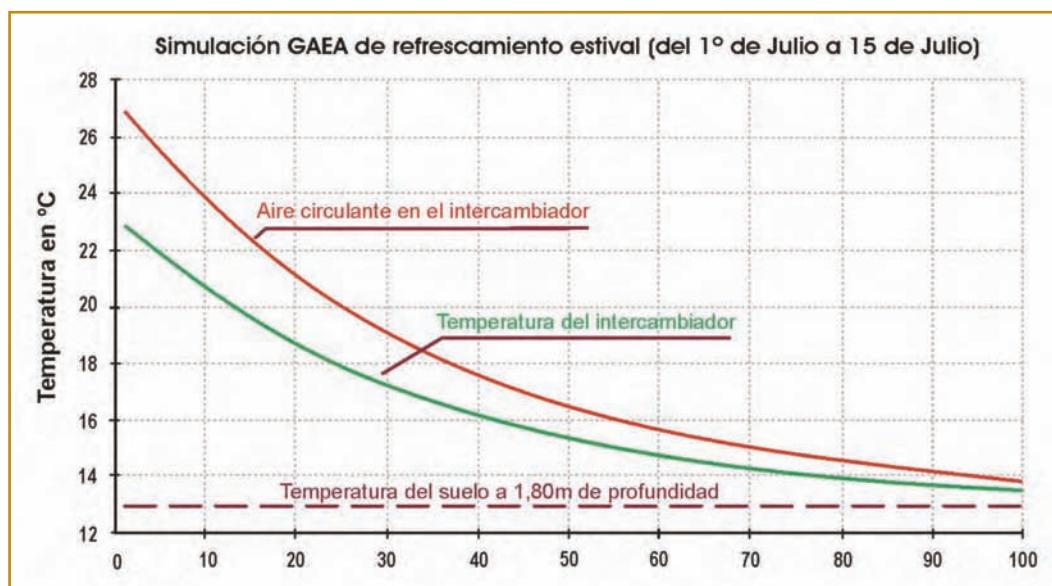


Fig. 9. Grafica con la progresión del rendimiento térmico de un intercambiador tierra /aire en función de su longitud, a una profundidad de 1,80 m, en un terreno tipo.



Fig. 10. Colector de un intercambiador geotérmico tierra /aire con una capacidad de 24.000m³/hora, en la rehabilitación del cuartel de Daoíz y Velarde para Teatro Infantil del Ayuntamiento de Madrid. Proyecto energético y ejecución ENERES.

La longitud del conducto enterrado se determina en función del volumen de aire de renovación, es el dato más importante. Cuanto más largo es el trayecto más se aproxima la temperatura del aire a la del terreno. Es necesario pensar "por término medio" en un trayecto al menos de 50m para obtener un impacto interesante (o 2x 25m) cuando el colector sea de diámetro superior a 200.

Como muestra el gráfico de la Fig. 9, más allá de una determinada longitud, aumentar el recorrido del aire genera ganancias térmicas muy escasas.

La profundidad de enterramiento del colector determina la amplitud máxima de las ganancias. Cuanto más profundo está el conducto, más estable es la temperatura del suelo, entorno a los 15°C, en Madrid.

Es necesario descender a una profundidad de 1.20 m mínimo, a partir de 2.00 m la ganancia en temperatura será más escasa y no se justificará en relación a la inversión necesaria en movimiento de tierras y nivelación. Una profundidad de 1.80 / 2m para un circuito de intercambiador geotérmico tierra/aire es una referencia muy razonable.

En la medida de lo posible el colector térmico debe estar dispuesto fuera de la zona edificada, si bien en procesos de rehabilitación o actuaciones en cascos consolidados no es extraño ejecutarlos bajo los edificios. Una parte importante del rendimiento de intercambio viene determinada por el contenido en agua del terreno, y el terreno bajo el edificio está seco ya que no está afectado por las lluvias, además al estar bajo el edificio no hay contribución solar a la renovación de la energía del terreno en contacto con el colector. Estos factores deben

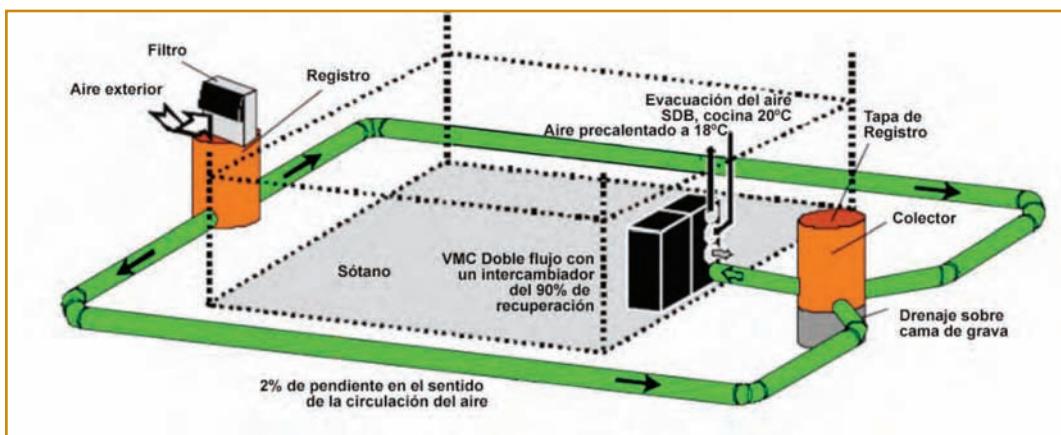


Fig.11. Esquema de una instalación de intercambiador geotérmico tierra/aire acoplada a un sistema de Ventilación Mecánica Controlada de doble flujo.

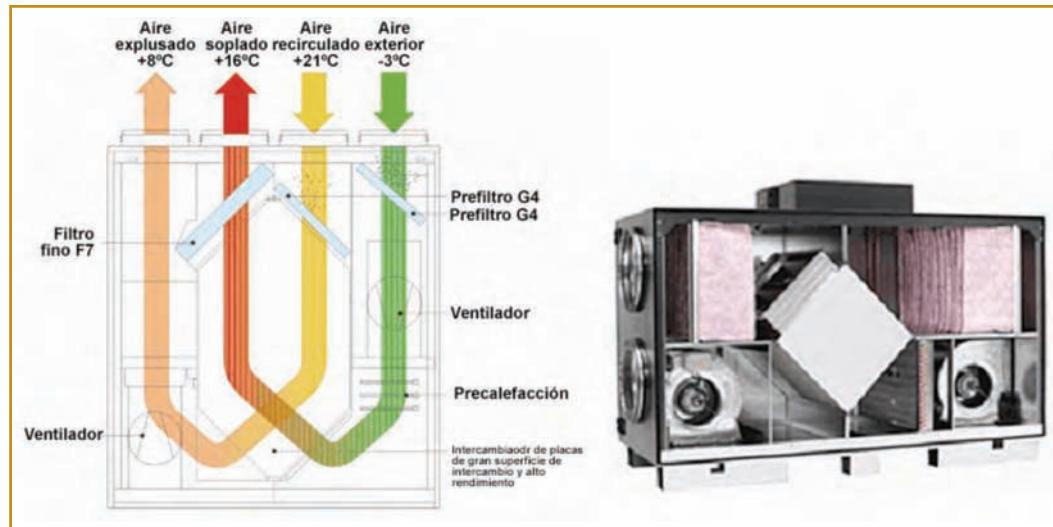


Fig. 12. Esquema de principio de funcionamiento de un dispositivo de intercambio de energía de doble flujo para ventilación Mecánica controlada.

ser tenidos muy en cuenta en el diseño del colector enterrado.

2.5. Ventilación mecánica controlada, VMC, de doble flujo

Recuperar el calor del aire extraído permite garantizar la calidad del aire interior y los niveles de renovación sin sufrir las pérdidas generadas por la acción de ventilar. Esta solución es aún más oportuna y efectiva cuando los edificios están bien aislados, son estancos al aire, y los usuarios gestionan con eficiencia la operación y el mantenimiento (la apertura incontrolada de las puertas y las ventanas reduce la efectividad de la recuperación de energía).

El intercambiador geotérmico tierra/aire conectado a una ventilación de doble flujo, con control de funcionamiento variable en función de la calidad del aire interior y alta recuperación de energía, entre un 75% y un 90% de recuperación, es una solución extraordinariamente eficiente que aporta gran calidad ambiental con un consumo energético mínimo. Como hemos comentado los ahorros que un sistema de este tipo generan pueden alcanzar el 25% del consumo asociado a la climatización de los edificios escolares.

Hay un punto crítico en la elección del sistema de VMC en relación a su funcionamiento acoplado a un intercambiador geotérmico tierra/aire, se trata del caudal máximo que admite el sistema mecánico en

función de la pérdida de carga de la red. Éste caudal determinará la capacidad del sistema de VMC para tomar el aire del IGTA a plena velocidad y con el caudal adecuado, y distribuirlo correctamente a través de la red de conductos de refrigeración a través de todo el edificio. No todos los sistemas de VMC con doble flujo están en condiciones de funcionar con un intercambiador geotérmico tierra/aire, y es un punto que debe ser estudiado cuidadosamente.

3. Climatización con intercambio geotérmico tierra/agua, bomba de calor geotérmica y estructuras termoactivas. Eficiencia energética en la climatización y calidad en la transferencia de energía.

Como apuntábamos en la introducción el segundo vector en la eficiencia, confort y salud en los centros escolares es la utilización de sistemas de climatización para calefacción fundamentados en la utilización de las capacidades iniciales del terreno y de masa construida de los edificios para transferir energía entre ambos medios con muy bajo consumo y enorme eficiencia.

Se trata de sistemas que transfieren y extraen calor de los edificios para calefactarlos y refrigerarlos, utilizando la masa de los elementos estructurales, fundamentalmente los

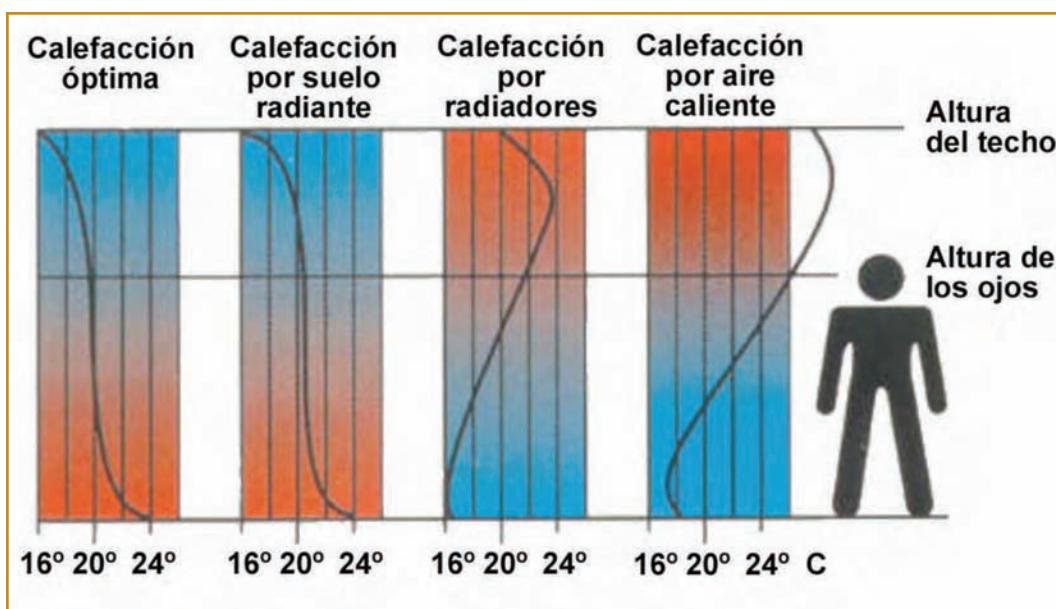


Fig. 13. El espacio donde los niños desarrollan su actividad queda perfectamente climatizado bajo la acción de los sistemas radiantes de baja temperatura adecuados en intensidad de intercambio y en uniformidad de difusión y absorción a la hipersensible fisiología infantil.

forjados y losas que son elementos extensos con capacidad de interacción radiante con los usuarios en toda su superficie y en una altura que se ajusta perfectamente a la zona de actividad, algo que es especialmente crítico cuando hablamos de los niños, que desarrollan su actividad en la franja de la zona habitable más próxima al suelo.

Los sistemas radiantes de temperatura moderada en los que la masa de hormigón de soleras y forjados actúa como acumulador inercial y dispositivo de transferencia, interactúan con los niños con un mecanismo de transferencia energética radiante, sano y mucho más adecuado a su fisiología, a su campo de actividad y a su sensibilidad que los sistemas convectivos y radiantes tradicionales, de alta y baja temperatura.

Los sistemas geotérmicos ligados a estructuras termoactivas y a dispositivos iniciales de climatización no deben plantearse como accesorios a los sistemas convencionales de climatización, sino como una alternativa plena a los mismos, mucho más eficiente en la consecución de los exigentes niveles de calidad térmica y ambiental que requieren los centros escolares, mucho más ahoradores en consumos y costes de energía y también más económicos en coste de instalación. Desaparece pues el tradicional concepto de amortización

ligado al incremento de coste que supone una instalación de captación de energía renovable añadida a un sistema de generación convencional, y por extensión el carácter necesariamente "subvencionado", obligatorio, o ambas cosas, de cualquier alternativa eficiente a los sistemas convencionales de climatización.

Las inversiones necesarias para la eficiencia energética en centros escolares se pueden recuperar en plazos muy razonables en virtud del ahorro en consumo energético. En los países europeos de nuestro entorno se están desarrollando los instrumentos financieros, públicos y privados que permiten a los propietarios ejecutar los planes de rehabilitación con financiación que se reintegra con el producto del ahorro energético conseguido.

La adecuada integración de los dispositivos iniciales, con los sistemas de bomba de calor geotérmica y las unidades de tratamiento de aire del edificio; bajo la gestión de un sistema de control específicamente diseñado permite la adecuación a eventuales puntas de demanda. El aumento de la componente radiante de la transmisión del calor eleva también el confort de los usuarios y la calidad de la climatización.

El intercambio geotérmico permite la utilización inercial del terreno y de la masa

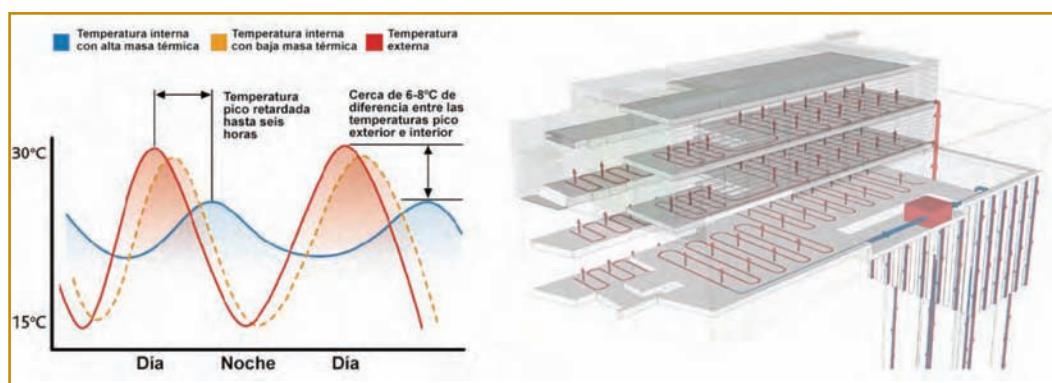


Fig. 14. El comportamiento inercial asociado a la utilización de la estructura como dispositivo de climatización y la masa de la construcción en interacción con el terreno aporta una gran estabilidad al comportamiento térmico del edificio con mínimo consumo.

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 otros sistemas 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 algo que puede resultar especialmente interesante en centros escolares.

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, intercambiadores verticales y horizontales, etc. Con ellos es

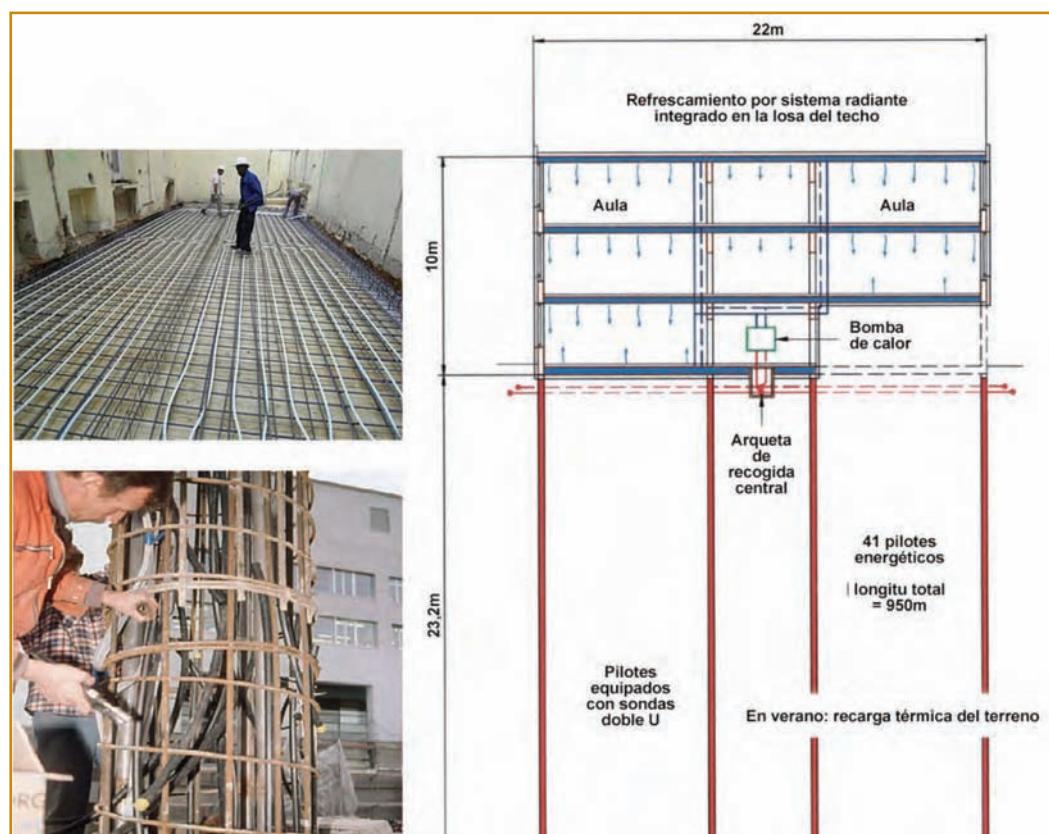


Fig. 15. Escuela en Fully, Suiza. 41 pilotes termoactivos en la cimentación del edificio, losas termoactivas y cuatro bombas geotérmicas de 15Kw/Ud. resuelven el sistema de climatización de una escuela de 2.635 m².

posible construir un nuevo edificio enterrado, dotado ya desde el origen de los dispositivos que le permite actuar como intercambiador, o termoactivar edificios, escuelas existentes para realizar la misma función.

La transferencia de energía desde la infraestructura que intercambia energía con el terreno, al espacio interior de los edificios 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 lo definen 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 al atravesarlo.



Fig. 16. Ejecución de un intercambiador geotérmico agua/agua con 33 colectores verticales para calefacción y refrigeración y un intercambiador tierra /aire para el pretratamiento del aire de renovación, ambos integrados, en la rehabilitación del cuartel de Daoíz y Velarde para Teatro Infantil del Ayuntamiento de Madrid. Proyecto energético y ejecución ENERES

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.

Otras ventajas de estas instalaciones son la reducción de los costes de explotación en combustibles fósiles en torno a un 80% y la reducción de las emisiones de CO₂ del 45 al 90%.

La utilización de estos sistemas en edificios escolares que tengan correctamente resuelta su interacción bioclimática pasiva con el medio, el aislamiento y estanqueidad de la envolvente, y la renovación y ventilación con los sistemas descritos de pretratamiento geotérmico y VMC, supone resolver con la máxima eficiencia la cobertura energética y la transferencia de energía en un medio ya eficiente en cuanto a la reducción pasiva y activa de la demanda. En este contexto, que es en el que tenemos que trabajar, las reducciones en el consumo energético son enormes, entre el 70 y el 80% del total de energía demandada para la climatización de un edificio convencional que cumpla la normativa básica de la edificación.

En muchos países de nuestro entorno una adecuada concepción de la envolvente y una correcta aproximación al comportamiento bioclimático de los edificios asociada a sistemas eficientes de ventilación, sitúan a los edificios escolares en el ámbito de la edificación pasiva, de mínima energía y bajo consumo. Decenas de edificios escolares ejecutados así en Europa y América son modelos de actuación que atestiguan el enorme interés que hay en nuestro entorno por resolver con soluciones innovadoras de bajo perfil tecnológico y enorme eficiencia y calidad el reto de mejorar el rendimiento y la calidad de las escuelas. Las condiciones de nuestro país y en particular de nuestra Comunidad de Madrid para cumplir

estos objetivos son aun más favorables que las que se dan en centro Europa, el campo de actuación es enorme, sobre todo en la rehabilitación energética de los centros existentes y no debemos dejar pasar la oportunidad de abordar su recuperación con los más exigentes criterios de calidad ambiental y eficiencia energética.

4. Nuevo teatro infantil y centro cultural del Ayuntamiento de Madrid. Geotermia para la climatización mediante losas termoactivas y el pretratamiento del aire de renovación.

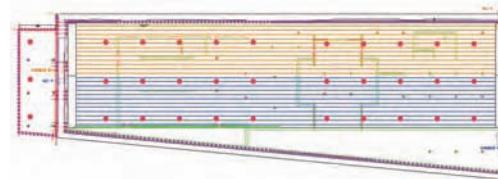
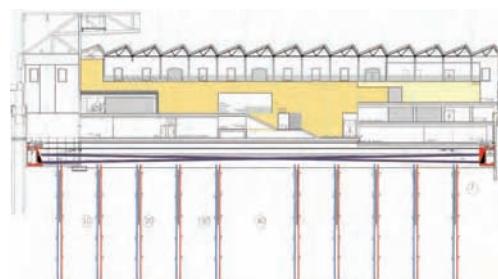
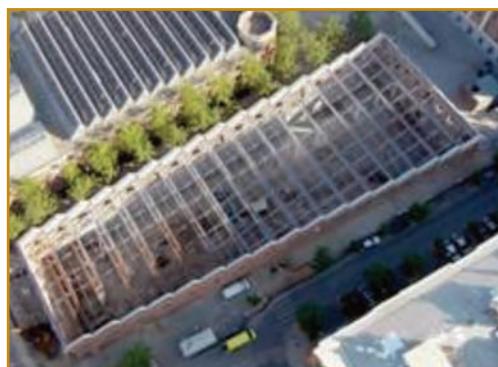
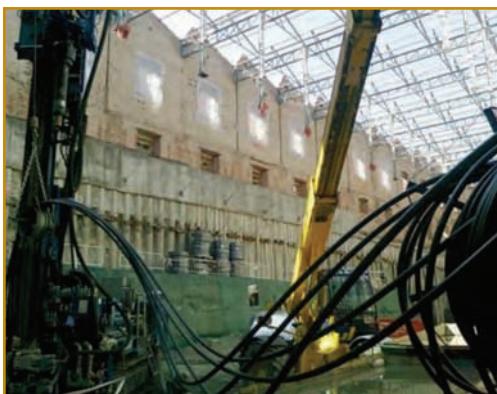


Fig 17. Sección y planta del edificio con los intercambiadores geotérmicos aire-tierra y aire-agua superpuestos. Fuente: ener.es.



Corresponde este caso a una intervención en rehabilitación promovida por el Ayuntamiento de Madrid para la recuperación



de los antiguos cuarteles en el complejo de Daoíz y Velarde. Son obras de recuperación de una antigua nave que servía de almacenamiento de piezas de artillería, para su reconversión en Teatro Infantil y Centro Cultural, para actos, exposiciones y actividades culturales diversas.

Se presta especial atención en este edificio a los dos grandes vectores de la eficiencia energética: la climatización y la renovación de aire. A ellos se aplican con excelentes resultados, en términos de calidad y eficacia en la cobertura energética, sistemas de intercambio geotérmico.

Climatización

Para cubrir la totalidad de la demanda energética del edificio en climatización la actuación contempla la construcción una red de 33 perforaciones para intercambiadores verticales geotérmicos con una profundidad de 157 mts. que alimentan un grupo de bombas geotérmicas con una potencia instalada en calefacción de 174 Kw y 127 Kw en refrigeración. El rango de temperaturas del 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 cubre la bomba de calor geotérmica sea pequeño, con lo que el consumo energético será muy ajustado y los COP's de las bombas muy altos.

Con el fin de asegurar un rendimiento óptimo del sistema energético, la climatización se resuelve tanto para la calefacción como para la refrigeración, utilizando las losas de forjado del edificio como losas termoactivas. Un total de 7.200 m². de losas radiantes en todas las dependencias del edificio, incluyendo las salas de teatro, que al igual que el terreno, trabajan en bandas ajustadas de moderada temperatura, acumulando mucha energía a baja potencia y asegurando un excelente nivel de confort radiante a los usuarios.

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. 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 enfria en los otros sistemas.

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 $\lambda = 1,7$.

Tratamiento del aire

Un aporte fundamental para la eficiencia energética y la calidad ambiental asociada a la renovación de aire es la instalación de

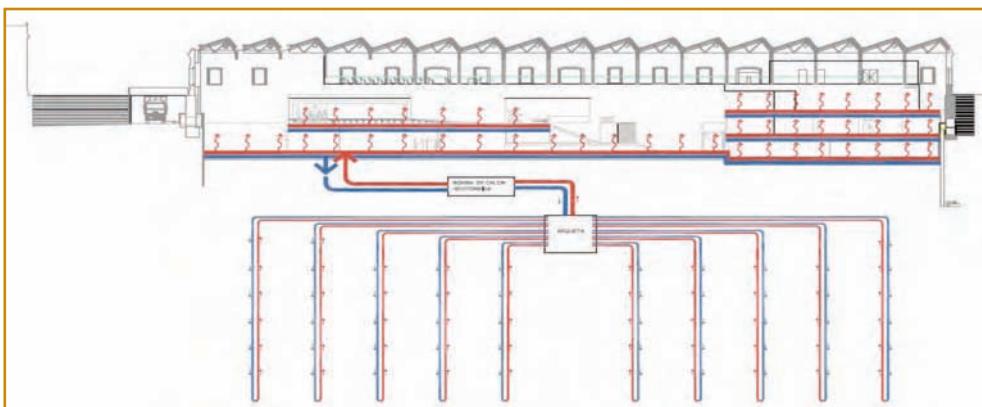
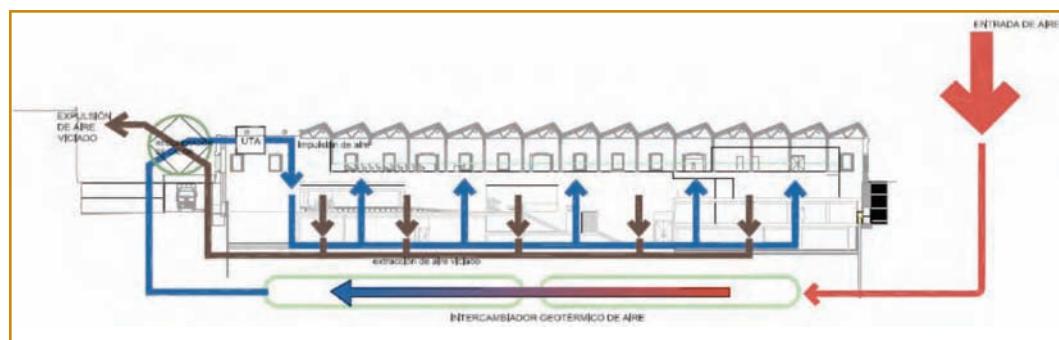


Fig. 18. Losas termoactivas e intercambiadores geotérmicos, como sistema inercial, radiante e integrado de climatización del edificio. Fuente: Eneres.

Geotermia

Fig. 19. Esquema de funcionamiento del sistema de renovación de aire con pretratamiento geotérmico y recuperación de energía. Fuente: Eneres.



intercambio tierra aire, construida a continuación de la red de intercambio vertical. Está constituida por dos intercambiadores 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 AKWADUT de Rehau de diámetro 315mm, formada por 12 tubos de 80 ml. 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 gunizado que en el extremo de admisión tiene unas dimensiones de 16 (l) x 1,80 (a) x 1,5 (h) mts. y en el de impulsión 19 (l) x 1,80 (a) x 2,7 (h) mts. 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.

24.0000.-m³/hora de aire de renovación se introducirán desde el exterior en 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.

Por este mecanismo de transferencia de energía entre el caudal de aire y el terreno, el rango de temperaturas del aire en la compuerta



Fig 20. Ejecución de los intercambiadores geotérmicos verticales del sistema de climatización y los intercambiadores geotérmicos horizontales del sistema de pretratamiento del aire de renovación. Fuente: Eneres.

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.

Fig 21. Distribución mensual de la energía demandada por el edificio para calefacción y refrigeración en un periodo anual. Fuente: Eneres.

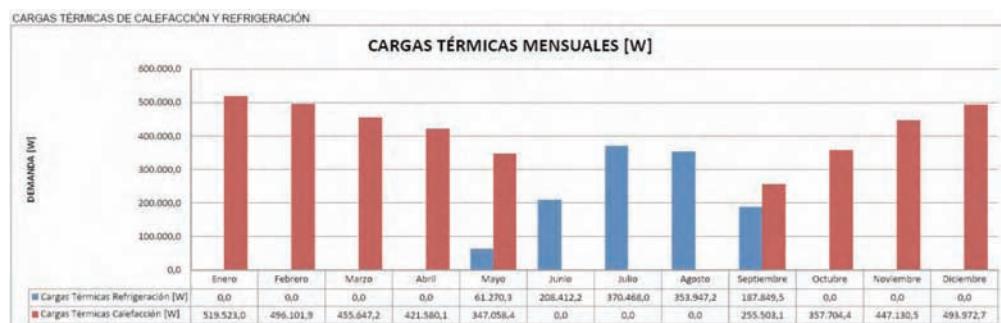




Fig 22. Distribución mensual de la energía demandada por el edificio para calefacción y refrigeración en un periodo anual, una vez incorporados el pretratamiento del aire y el recuperador de calor. Reducción de 2/3 de la demanda. Fuente: eneres.

Balance energético

La aplicación de criterios y medidas eficientes para el pretratamiento del aire de aportación y la recuperación de la energía del aire expulsado, en este edificio, supone un enorme factor de reducción de la demanda, prácticamente se reducen las necesidades de aporte energético a 1/3 de la demanda original sin aplicar estos dispositivos.

La cobertura de la demanda resultante con los dispositivos de intercambio geotérmico asociados a las bombas de calor y los dispositivos iniciales de climatización radiante a baja temperatura, permite resolver la calefacción y la refrigeración con un consumo energético de aproximadamente un 40% del que tendría un sistema convencional con caldera y enfriadora de la misma potencia.

La combinación de ambos factores resulta en una reducción del consumo energético en climatización en el edificio de aproximadamente un 70 %.

Beneficios – Impactos positivos

Además del importante ahorro energético y de emisiones conseguido en la climatización y la renovación del aire, aproximadamente un 70%, aplicando las estrategias y dispositivos descritos, la reducción estimada de los costes de mantenimiento de la instalación se cifra en torno a un 60 % a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio.

Los parámetros de confort higrotérmico, y calidad ambiental, conseguidos, son óptimos, en espacios de este tipo y para usuarios infantiles considerablemente mejores que los que se consiguen con los sistemas tradicionales todo aire.

www.eneres.es

Área de Taludes, Obras Geotécnicas y Servicios para la instalación de sistemas de protección, estabilización de taludes y actuaciones geotécnicas

Producción y comercialización de sistemas, productos y componentes para la estabilización de taludes y protección contra desprendimientos

Asistencia técnica y consultoría especializada en el campo de la geotecnia, en particular la estabilización de taludes y la protección contra desprendimientos

Oficina Técnica - I+D+i
Avda. del Racing, 1B - 5º D
E-39005, Santander (Cantabria)
Mail: info@3sgeotech.com
Telf./Fax: + 34 942 27 04 41

3S Geotecnia y Tecnología S. L.
Dirección y Administración
Beitza Bidea, 10 Izqda.
E-20115, Astigarraga (Guipúzcoa)
Web: www.3sgeotech.com
Telf.+ 34 609 40 05 44