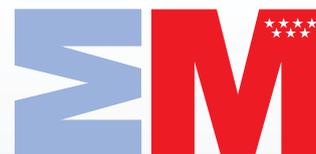




Madrid
Ahorra
con Energía



La Suma de Todos



CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA

Comunidad de Madrid

www.madrid.org

Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios



Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

Madrid, 2014



Fundación de la Energía de
la Comunidad de Madrid



www.fenercom.com



Esta versión forma parte de la
Biblioteca Virtual de la
Comunidad de Madrid y las
condiciones de su distribución
y difusión se encuentran
amparadas por el marco
legal de la misma.



comunidad.madrid/publicamadrid



 CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA
Comunidad de Madrid
www.madrid.org

Esta Guía se puede descargar en formato pdf desde la sección de publicaciones de las páginas web:

www.madrid.org

(Consejería de Economía y Hacienda, organización Dirección General de Industria, Energía y Minas)

www.fenercom.com

Si desea recibir ejemplares de esta publicación en formato papel puede contactar con:

Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid

dgtecnico@madrid.org

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid

fundacion@fenercom.com

La Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, respetuosa con la libertad intelectual de sus colaboradores, reproduce los originales que se le entregan, pero no se identifica necesariamente con las ideas y opiniones que en ellas se exponen y, por tanto, no asume responsabilidad alguna de la información contenida en esta publicación.

La Comunidad de Madrid y la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, no se hacen responsables de las opiniones, imágenes, textos y trabajos de los autores de esta Guía.

Depósito Legal: M. 27211-2014

Impresión Gráfica: Gráficas Arias Montano, S. A.
28935 MÓSTOLES (Madrid)

Autores

Capítulo 1. **Soluciones de Climatización Invisible**

*Israel Ortega Cubero
Uponor*

Capítulo 2. **Aumento de la inercia térmica en edificios mediante el uso de acristalamientos activos con cámara de agua**

*Fernando del Ama Gozalo
Alberto Alonso González
Juan Antonio Hernández Ramos
IntelliGlass*

Capítulo 3. **Estructuras termoactivas en edificios de oficinas**

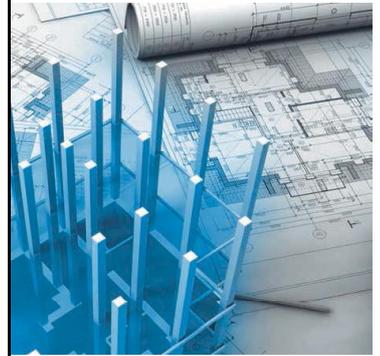
*Antonio Villanueva Peñalver
Ramón Guitiérrez Fernández-Cuervo
Idom*

Capítulo 4. **Aeroterminia, aplicación de sistemas inerciales de protección pasiva en la edificación terciaria, con inclusión de otras medidas de eficiencia energética**

*Juan Manuel Ortega
Ortiz Construcciones y Proyectos*

Capítulo 5. **Integración de sistemas termoactivos para eficiencia. Principios y casos**

*Luis de Pereda Fernández
ENERES, Sistemas Energéticos Sostenibles.
Instituto Europeo de Innovación. IEI.*



Índice

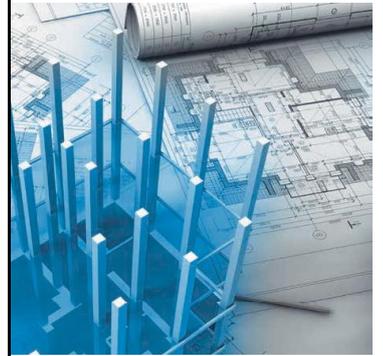


PRÓLOGO	11
1. SOLUCIONES DE CLIMATIZACIÓN INVISIBLE	13
1.1. Introducción	13
1.2. Forjados Activos (Thermally Active building System TABS)	15
1.3. La responsabilidad de la Administración y de las Instituciones Públicas	20
1.3.1. Introducción	20
1.3.2. Descripción del edificio	21
1.3.3. Descripción de los sistemas en estudio	22
1.3.4. Cálculo de cargas térmicas en calefacción y refrigeración	24
1.3.5. Cálculo de cargas térmicas en calefacción y refrigeración	26
1.3.6. Conclusión del estudio	27
1.4. Conclusiones	28
2. AUMENTO DE LA INERCIA TÉRMICA EN EDIFICIOS MEDIANTE EL USO DE ACRISTALAMIENTOS ACTIVOS CON CÁMARA DE AGUA	31
2.1. Introducción	31
2.1.1. Almacenamiento de energía en agua	32
2.1.2. Eficiencia energética de los cerramientos de vidrio	33
2.2. Descripción de los vidrios activos con cámara de agua	35
2.2.1. Vidrio activo en fachadas o cubiertas	36
2.2.2. Vidrio activo como participación interior	38
2.3. Inercia térmica	39
2.3.1. Problemas asociados a la falta de inercia térmica	39
2.3.2. Inercia térmica mediante acristalamiento activos	39
2.4. Ejemplos de aplicación	40
2.4.1. Simulación	41
2.5. Conclusiones	44



3.	ESTRUCTURAS TERMOACTIVAS EN EDIFICIOS DE OFICINAS	47
3.1.	Introducción	47
3.2.	El problema energético	51
3.3.	Diseño de un edificio de consumo de energía casi nulo	53
3.4.	Aislamiento térmico	59
3.5.	Eficiencia energética	63
3.6.	TABS	65
3.7.	Exergía	74
3.8.	Resultados	77
4.	AEROTERMIA, APLICACIÓN DE SISTEMAS INERCIALES DE PROTECCIÓN PASIVA EN LA EDIFICACIÓN TERCIARIA, CON INCLUSIÓN DE OTRAS MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	81
4.1.	Introducción	81
4.1.1.	Introducción	81
4.1.2.	Descripción de los edificios	82
4.2.	Climatología	84
4.2.1.	Estudio climático previo	84
4.2.2.	Exigencias del CTE	85
4.2.3.	Consumo de energía en el edificio de referencia	86
4.2.4.	Consumo de los edificios de proyecto y mejoras pasivas	86
4.2.5.	Hipótesis de funcionamiento en uso	89
4.3.	Equipos de distribución	90
4.3.1.	Distribución del aire	90
4.4.	Empleo de energías renovables	90
4.4.1.	Intercambio geotérmico tierra-aire	90
4.5.	Utilización de sistemas de elevada eficiencia energética	99
4.5.1.	Uso de free-cooling en climatizadores	99
4.5.2.	Utilización de la ventilación nocturna	100
4.5.3.	Uso de la torre de refrigeración para enfriamiento directo	102
4.6.	Sistemas de monitorización y seguimiento energético	103
4.7.	Resultados reales de funcionamiento	104
5.	INTEGRACIÓN DE SISTEMAS TERMOACTIVOS PARA EFICIENCIA. PRINCIPIOS Y CASOS	107
5.1.	Introducción	107
5.2.	Fundamentos	113
5.2.1.	Consumo	119

5.2.2. Free Cooling	119
5.2.3. Diseño	120
5.2.4. Ejecución	120
5.3. El almacenamiento de calor en el terreno. Intercambio y almacenamiento de calor y enfriamiento geotérmicos mediante cimentación termoactivas	120
5.3.1. Cimentaciones termoactivas	123
5.3.2. Calefacción, refrigeración/freecooling	127
5.4. Climatización termoactiva. Refrigeración y calefacción mediante estructuras termoactivas	131
5.4.1. Control de temperatura y ventilación	139
5.5. Bomba de calor	141
5.6. Dinámicas de la refrigeración y la calefacción mediante estructuras termoactivas. Operación y control	143
5.6.1. Estrategia de control y operación	144
5.7. Casos ejecutados 2009-2013	145





El consumo energético de nuestros edificios supone más del 15% del total del consumo de recursos energéticos del país. En este sentido, el objetivo básico que se debe seguir en proyectos para nueva edificación o de rehabilitación en edificios ya existentes, es obtener un conjunto eficiente energéticamente, lo que implica lograr menores consumos energéticos y menores emisiones de CO₂ sin menoscabar el confort de las personas.

Si bien es cierto que el ahorro energético de un edificio depende también de las instalaciones de iluminación y del mayor o menor aporte de energías renovables, la limitación de la demanda energética y el apropiado rendimiento de las instalaciones térmicas han de ser considerados como los pilares básicos para lograr que sea energéticamente eficiente.

Para ello, se ha de concebir la envolvente, las instalaciones térmicas, la ubicación, el entorno y el uso del edificio como un único sistema, de modo que el beneficio global mejore el que se obtendría considerando cada parte por separado. En definitiva, se trata de proyectar haciendo cooperar a las partes para conseguir optimizar el resultado.

En esta guía, organizada por la Dirección General de Industria, Energía y Minas y la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, se exponen aplicaciones de estructuras termoactivas, sistemas inerciales, e instalaciones geotérmicas o aerotérmicas en edificación, para lo que se ha contado con la colaboración de diversas empresas especializadas con el fin de informar sobre la importancia de edificar con criterios de eficiencia energética.

Carlos López Jimeno

Director General de Industria, Energía y Minas
Comunidad de Madrid

1

SOLUCIONES DE CLIMATIZACIÓN INVISIBLE

Israel Ortega Cubero
Uponor



1.1. INTRODUCCIÓN

Dada la importancia que hoy en día tiene la reducción de las necesidades de consumo de energía en los edificios como parte de un consumo racional de los recursos energéticos, se hace fundamental plantearse incorporar a los mismos, sistemas de climatización que aporten un ahorro energético notable en comparación con los sistemas tradicionales, aumentando el nivel de confort para los usuarios, y con similares costes de instalación y mantenimiento.

Las soluciones de Climatización Invisible por Suelo Radiante, Techo Radiante o Forjados Activos se posicionan como una magnífica opción al aportar numerosas e importantes ventajas a los diferentes profesionales del sector de la construcción, así como a los propietarios y usuarios de las edificaciones donde se decida incluirlas. De forma resumida, estas soluciones se caracterizan por:

- Consumir una menor cantidad de energía durante su funcionamiento
- Ser compatibles con el uso de energías renovables
- Funcionar con total fiabilidad durante toda la vida útil del edificio
- Incorporan materiales que respetan en medio ambiente
- Crear ambientes más saludables y confortables.

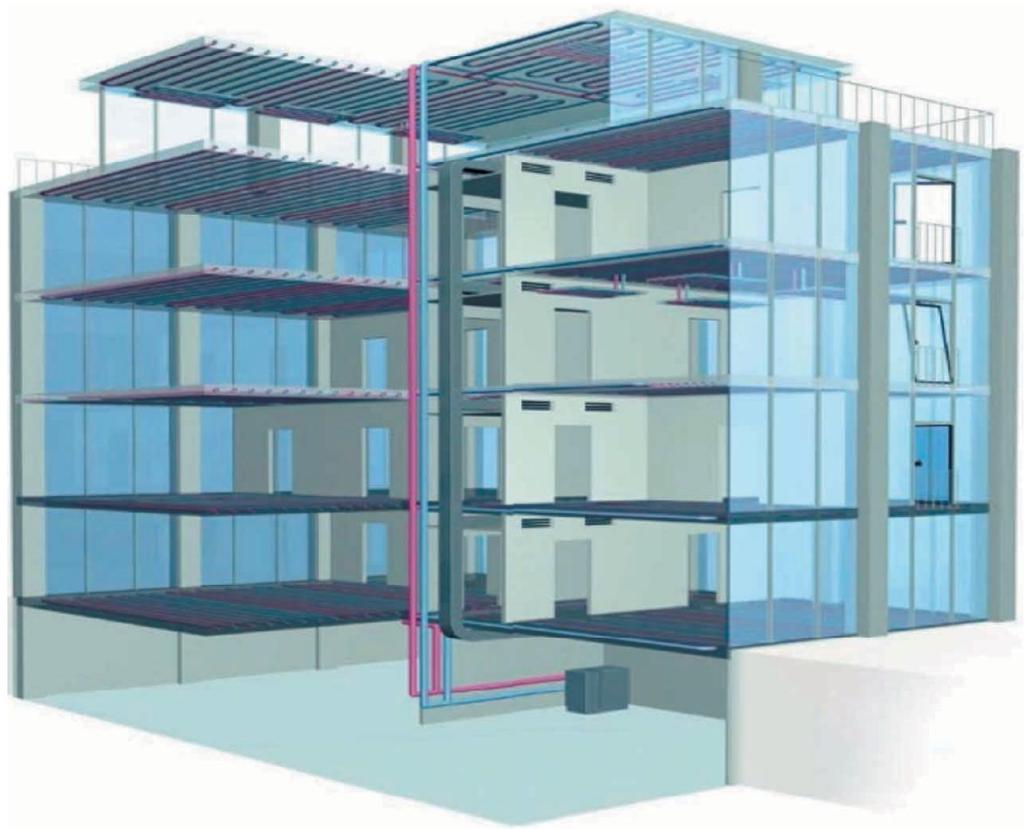


Figura 1.1. Soluciones de Climatización Invisible en Edificios.

La Climatización Invisible por suelo radiante, es una solución capaz de ahorrar entre un 30% y 90% de energía en comparación con los sistemas tradicionales, siendo compatibles con todo tipo de fuentes de energía, tanto convencionales, como renovables: energía solar térmica, geotermia, microgeneración o absorción. Permite generar espacios diáfanos y sin obstáculos por lo que se incrementa la superficie útil del edificio entre un 3% y un 5%, y al no estar a la vista, proporciona libertad total en el diseño de interiores.

Esta solución está compuesta por circuitos de tuberías plásticas de polietileno reticulado *Uponor Eval Pex* con barrera antidifusión de oxígeno, integradas bajo el suelo de la vivienda, a través de las cuales circula agua.

Esta solución funciona durante todo el año, en modo calefacción en invierno con agua calentada en torno a 40 °C y en modo refrigeración en verano con agua enfriada a 16 °C aproximadamente, siendo capaz de generar y mantener una temperatura óptima de confort en el interior de los edificios con un menor consumo de energía en comparación con los sistemas tradicionales.

Tal y como se recoge en la normativa vigente UNE-EN 1264, los circuitos de tubería que componen la instalación se colocan sobre una base de aislamiento de poliestireno expandido con recubrimiento impermeable, aportando a la vivienda el aislamiento térmico y acústico necesario para el cumplimiento del CTE. Sobre estos circuitos, se extiende una capa de mortero de cemento que absorbe el calor procedente del agua que circula por las tuberías en el modo de calefacción y que emite dicho calor al ambiente a través del pavimento (gres, mármol, madera...) mediante radiación y en menor medida convección.

En el caso de funcionamiento en modo de refrigeración, el agua que circula por las tuberías absorbe el calor del ambiente para ser nuevamente enfriada y seguir circulando. Mediante los sistemas radiantes no se genera ningún tipo de estratificación de temperaturas, de este modo se logra climatizar alturas próximas a los 3 m. Además como la diferencia de temperaturas entre el interior del edificio está más próxima a la temperatura del exterior, las pérdidas de energía a través de los cerramientos se reduce considerablemente, factor de gran importancia en el caso de edificios en los que su envolvente es acristalada.

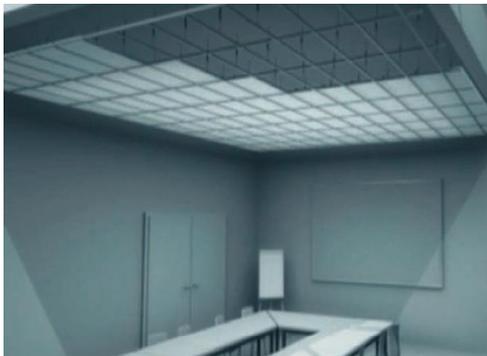


Figura 1.2. Imagen Techo Radiante.

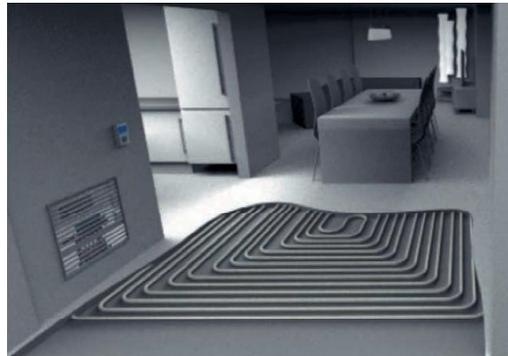


Figura 1.3. Imagen Suelo Radiante.

1.2. FORJADOS ACTIVOS (*THERMALLY ACTIVE BUILDING SYSTEM - TABS*)

En la actualidad más de 1.000 edificios representativos en Europa integran la solución de Uponor para Forjados Activos, también conocida como TABS. Este sistema se caracteriza por disponer de ventajas parecidas a los anteriores, con la diferencia de llevar a la máxima expresión el uso de la inercia térmica de la masa del propio edificio.



Este sistema aprovecha la inercia térmica del hormigón a través de la incorporación en la propia estructura del edificio, de los entramados de circuitos de tuberías con barrera antidifusión de oxígeno Uponor Eval PEX, a través de las cuales circula el agua.

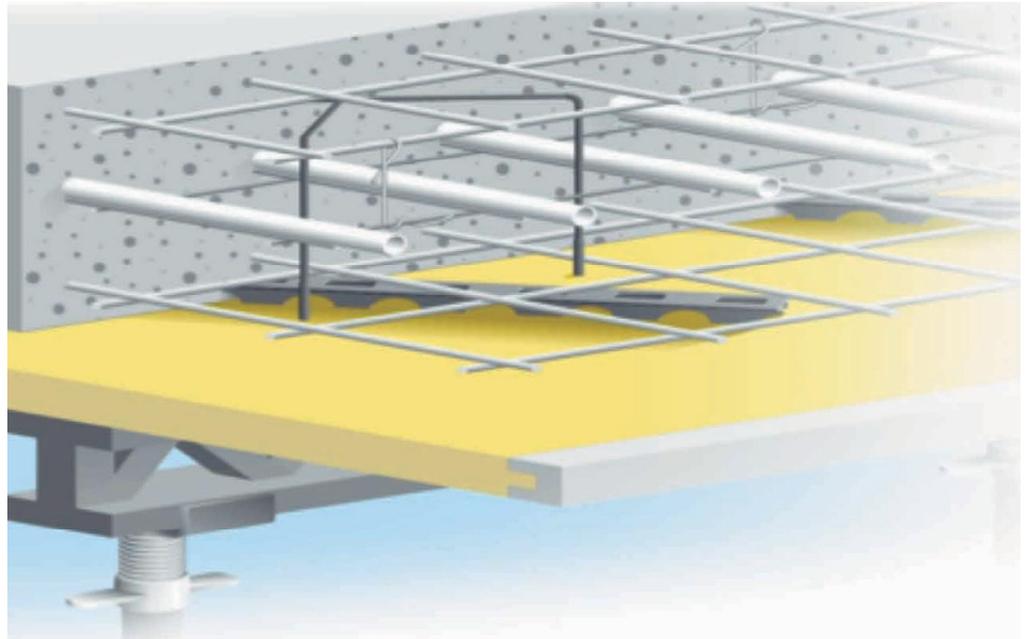


Figura 1.4. Sistema Uponor por Forjados Activos - TABS.

De este modo, los techos, suelos y las paredes contribuyen a refrigerar el ambiente de forma perceptible, además de servir de complemento a la calefacción básica del edificio.

En modo refrigeración, el sistema por la noche, cuando el edificio está vacío y la energía es más barata, enfría el núcleo de hormigón del edificio a través de sistemas frigoríficos o de una fuente de refrigeración natural.

De día, cuando los usuarios de las instalaciones están en su interior y se encuentra el edificio a pleno rendimiento, la losa del techo, que estaba fría, acumula la carga térmica del interior o de la radiación solar, enfriándose de nuevo por la noche y repitiéndose el ciclo.

En ambos casos, se aprovecha el núcleo de hormigón de la masa del edificio para almacenar y liberar la carga térmica.

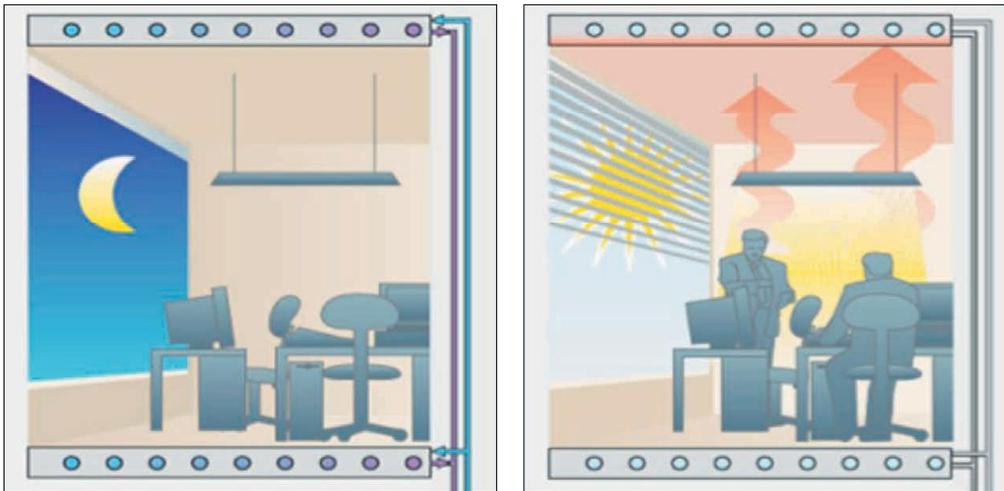


Figura 1.5. 1. De noche refrigeramos la estructura del edificio.
2. De día compensamos las cargas térmicas del edificio.

El ahorro energético se consigue gracias a que estos sistemas utilizan agua a muy baja temperatura en calefacción cercana a los 28 °C y alta en refrigeración en torno a los 18 °C, muy cercana siempre a la temperatura ambiente. Esto logra incrementar sustancialmente la eficiencia de las fuentes de energía renovables, convirtiéndose de la misma forma en el complemento ideal para el uso de energías renovables como la geotermia, la energía solar térmica o la absorción.

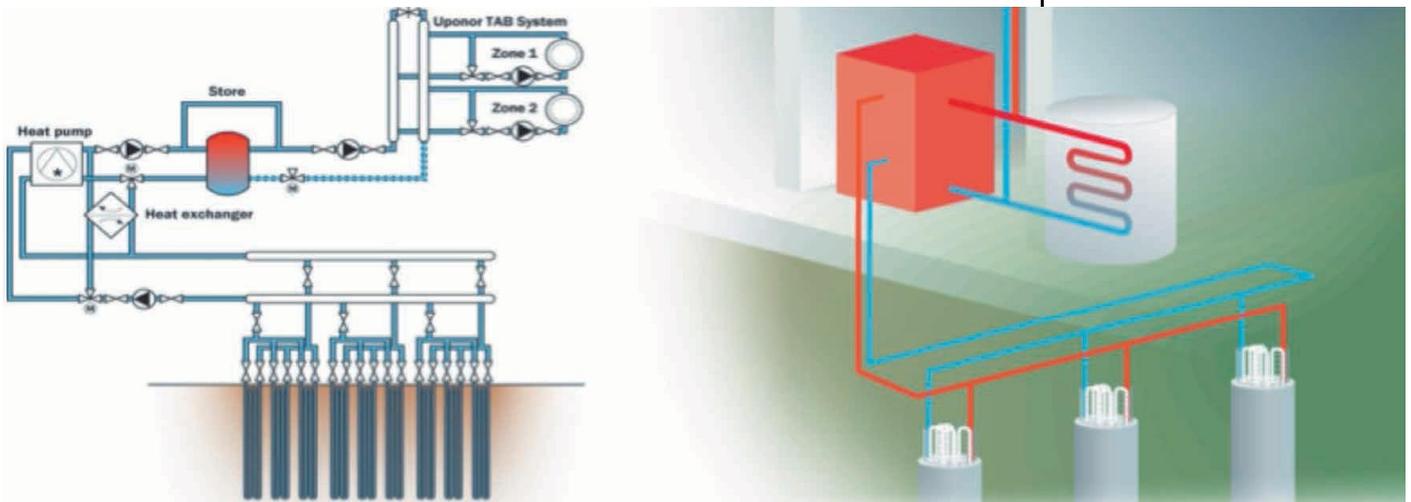


Figura 1.6 y Figura 1.7. Esquemas de principio con geotermia y pilotes termoactivos.

El confort queda garantizado gracias a las temperaturas óptimas y uniformes proporcionadas por un sistema silencioso en el que no hay aire en circulación, por lo que se evita el polvo y las corrientes de aire, y se garantiza un ambiente interior más saludable y confortable, facilitando el cumplimiento de normas como la UNE EN ISO 7730 para el cálculo del bienestar térmico.

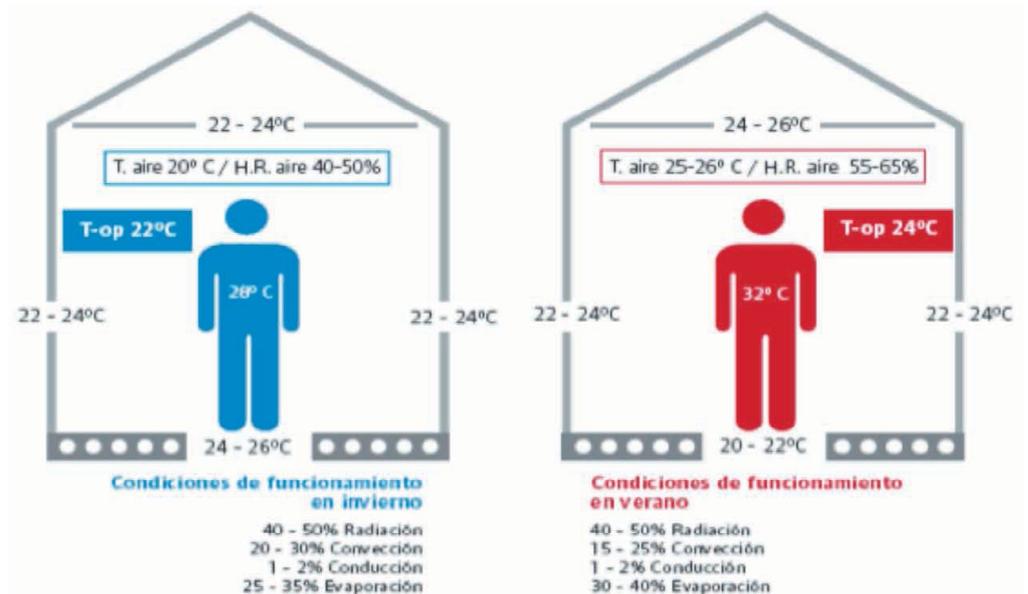


Figura 1.8. Condiciones de confort térmico con sistemas de Climatización Invisible.

Contar con estos sistemas de climatización en un edificio, requiere su consideración desde la etapa originaria del proyecto, recomendándose preferentemente en aquellos edificios que por su tipología tengan una ocupación temporal a lo largo del día y cuenten con más de una planta en altura, como es el caso de los edificios de oficinas, centros comerciales, universidades, etc.

Inicialmente se estimará la ocupación en función del horario y las cargas sensibles que se generarán por la actividad desarrollada en su interior, para posteriormente poder calcular el rendimiento de la instalación en función de factores como:

- La geometría del edificio y su orientación
- La actividad a desarrollar
- Las fuentes de energía
- La posición de los circuitos dentro del propio forjado del edificio
- Dimensionamiento de los circuitos (diámetro y longitud de la tubería)
- Hormigón seleccionado
- Pavimento final.

Posteriormente el proceso de instalación es perfectamente compatible con los tiempos de ejecución de la obra, pudiendo realizarse

mediante losas macizas de hormigón prefabricadas que incluyen los circuitos en su interior o en su caso, mediante módulos prefabricados que se instalan previamente al vertido del hormigón. A continuación se realizan las pruebas de estanqueidad y mecánicas en los circuitos, según norma UNE ENV 12108. Posteriormente cada circuito se conecta a un colector desde donde se regulará el caudal de agua necesario; este colector se alimentará a través de unas tuberías de distribución de agua, que transportarán el agua acondicionada a la temperatura necesaria (18 - 28 °C) desde la fuente de energía utilizada. Uno de los casos típicos es utilizar como fuente de energía la geotermia con bomba de calor agua-agua, obteniéndose unos rendimientos excepcionales.

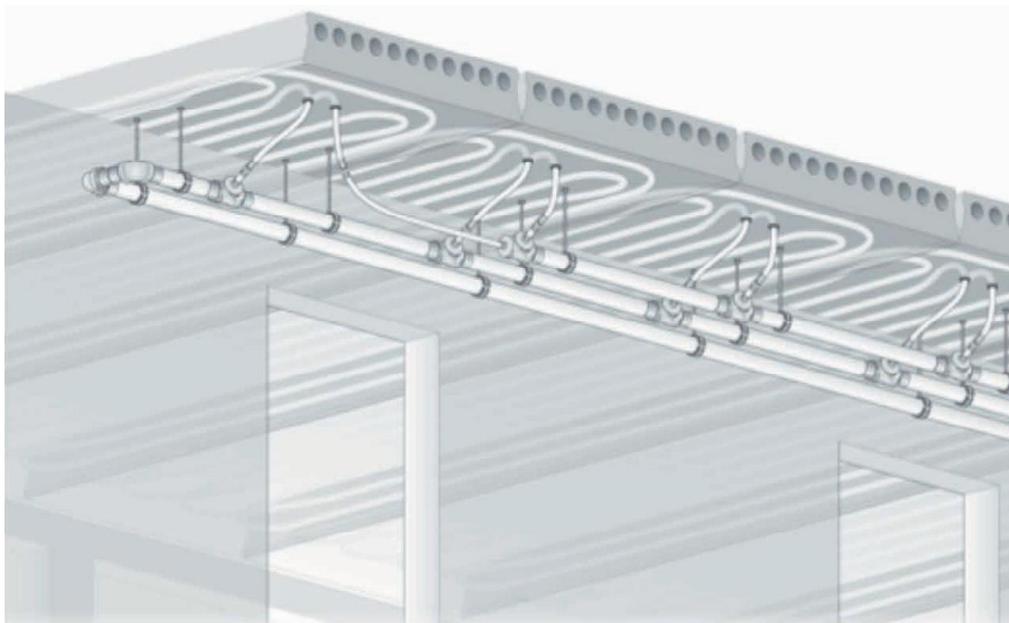


Figura 1.9. Losas macizas de hormigón prefabricadas para Forjados Activos.

La regulación y funcionamiento de la instalación podrá llevarse a cabo desde puestos centralizados, donde se controlan todos los parámetros a tener en cuenta para un correcto funcionamiento de la instalación, con rendimientos en torno a los 50 W/m² tanto en calefacción como en refrigeración. Estos parámetros a controlar serán los siguientes:

- Temperatura exterior
- Temperatura interior
- Humedad relativa
- Temperatura superficial del pavimento.

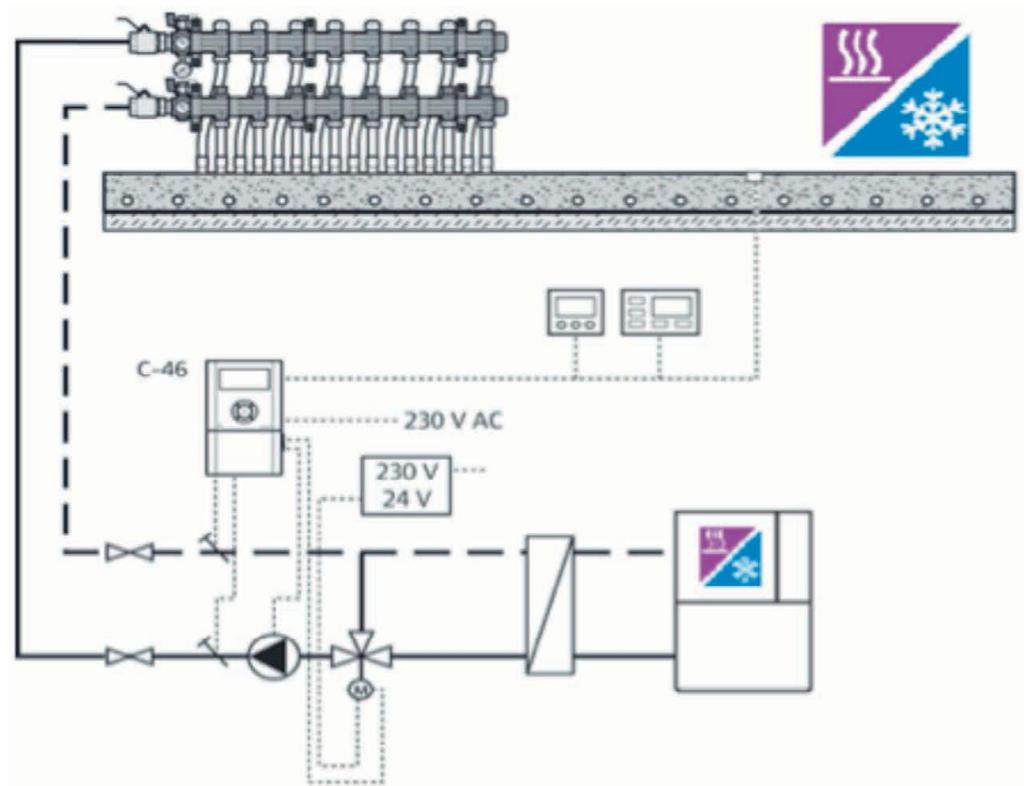


Figura 1.10. Esquema tipo regulación y control.

1.3. ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE UN SISTEMA DE FORJADOS ACTIVOS Y SISTEMAS CONVENCIONALES DE CLIMATIZACIÓN

1.3.1. Introducción

A continuación presentamos una introducción del estudio comparativo realizado por la empresa de consultoría energética finlandesa Mott MacDonald, donde se compara el coste real final entre los diferentes sistemas de climatización, considerando el consumo de energía a lo largo de la vida útil, el nivel de confort térmico y los costes de instalación. Para tal fin se ha elegido un edificio de oficinas, situado en las ciudades de Madrid y Barcelona, con el objetivo de demostrar la validez de los sistemas de Climatización Invisible de Forjados Activos, tanto para la calefacción como para la refrigeración de cualquier tipo de edificio, independientemente de la zona climática en el que se encuentre localizado.

Todos los sistemas propuestos en este estudio, cumplen lo establecido en la reglamentación española: R.I.T.E y C.T.E, atendiendo a todas las

variables obligatorias para la calefacción, refrigeración y ventilación de los edificios. Además para el cálculo y dimensionado de los diferentes sistemas se ha atendido a lo establecido en los actuales reglamentos europeos para tal finalidad. En relación al nivel de confort térmico, se ha atendido a lo dispuesto en la norma UNE-EN-ISO 7730, la cual establece los parámetros para el cálculo del confort térmico en el interior de los edificios.

Los sistemas comparados en el estudio son los siguientes:

- Forjados Activos
- Forjados Activos + Geotermia
- Fan-Coil
- Unidades de Tratamiento de Aire.

Todos estos sistemas se complementarán con los equipos necesarios para la renovación del aire interior.

1.3.2. Descripción del edificio

- Localización:
Ciudades: Madrid y Barcelona.
- Detalle del edificio:
Edificio de 4 plantas con atrio central para uso de oficinas.
 - Espacio a climatizar: 1.000 m²
 - Longitud: 29 m
 - Anchura: 11 m
 - Altura: 12 m
 - N.º de plantas: 4
 - Altura de los techos: 2,8 m.
- Distribución de las plantas:
En los siguientes planos se recoge la distribución y función de cada una de los locales ubicados en cada una de las 4 plantas del edificio.





Figura 1.11. Distribución de las plantas.

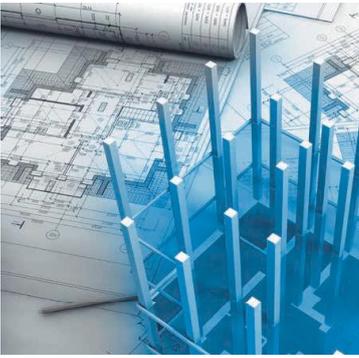
1.3.3. Descripción de los sistemas en estudio

SISTEMA CON FORJADOS ACTIVOS	
Fuente de calefacción	Caldera de condensación
Fuente de refrigeración	Enfriadora
Unidades de tratamiento de aire	Ventilación y carga latente
Descripción	<p>El sistema con Forjados Activos ataca a la carga base sensible en calefacción y refrigeración. Este sistema se complementa por unidades de tratamiento de aire (UTAS) encargadas de cubrir la carga latente, mantener los niveles de humedad relativa exigidos y atender a la renovación de aire, incorporando recuperación de calor.</p> <p>El sistema con Forjados Activos al igual que las UTAS, están alimentados a través de una batería de calderas de condensación para producción de agua caliente y una batería de enfriadoras para la producción de agua fría.</p>



SISTEMA CON FORJADOS ACTIVOS Y BOMBA GEOTÉRMICA	
Fuente de calefacción	Bomba de calor agua-agua
Fuente de refrigeración	Bomba de calor agua-agua
Unidades de tratamiento de aire	Ventilación y carga latente
Descripción	<p>El sistema con Forjados Activos ataca a la carga base sensible en calefacción y refrigeración. Este sistema se complementa por unidades de tratamiento de aire (UTAS) encargadas de cubrir la carga latente, mantener los niveles de humedad relativa exigidos y atender a la renovación de aire, incorporando recuperación de calor.</p> <p>El sistema con Forjados Activos, al igual que las UTAS, están alimentados a través de una batería de bombas de calor agua-agua, para la producción de agua en calefacción y refrigeración.</p>

SISTEMA CON FAN-COILS	
Fuente de calefacción	Caldera de condensación
Fuente de refrigeración	Enfriadora
Unidades de tratamiento de aire	Ventilación y carga latente
Descripción	<p>El sistema con Fan-Coils ataca la carga base sensible en calefacción y refrigeración. Este sistema se complementa por unidades de tratamiento de aire (UTAS) encargadas de cubrir la carga latente, mantener los niveles de humedad relativa exigidos y atender a la renovación de aire, incorporando recuperación de calor.</p> <p>El sistema con Fan-Coils al igual que las UTAS, están alimentados a través de una batería de calderas de condensación para producción de agua caliente y una batería de enfriadoras para la producción de agua fría.</p>



SISTEMA CON UNIDADES DE TRATAMIENTO DE AIRE	
Fuente de calefacción	Caldera de condensación
Fuente de refrigeración	Enfriadora
Descripción	<p>El sistema con Unidades de Tratamiento de Aire ataca la carga base sensible en calefacción y refrigeración. Además este sistema se encarga de cubrir la carga latente, mantener los niveles de humedad relativa exigidos y atender a la renovación de aire, incorporando recuperación de calor.</p> <p>El sistema con Unidades de Tratamiento de Aire está alimentado a través de una batería de calderas de condensación para producción de agua caliente y una batería de enfriadoras para la producción de agua fría.</p>

1.3.4. Cálculo de cargas térmicas en calefacción y refrigeración

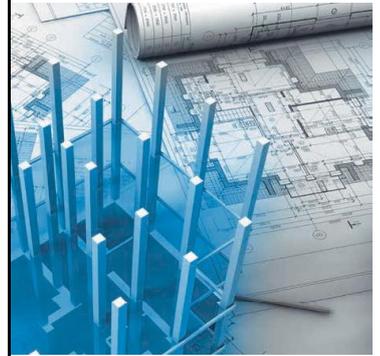
- Consideraciones iniciales
 - Temperatura Operativa en verano durante el periodo de ocupación: 25 °C.
 - Temperatura Operativa en invierno durante el periodo de ocupación: 21 °C.
 - Volumen de renovación de aire en el área de oficinas: 12 l/s/persona.
 - Cargas por equipos: 20 W/m².
 - Cargas por ocupación: 90 W/persona.
 - Cargas por iluminación: 10 W/m².

Nº DE PLANTA	PLANTA 1	PLANTA 2	PLANTA 3	PLANTA 4	TOTAL
m ²	319	253,6	253,6	253,6	977,6
N.º de salas	7	5	9	13	34
N.º de ocupantes	21,5	22,1	21,8	21,6	90,5

- Cálculo para la ciudad de Madrid

Los datos climatológicos para la localidad de Madrid son:

 - Latitud: 43,4537° N ; Longitud: 3,55° W.
 - Altitud: 582 m.



- Temperatura Seca/Temperatura Húmeda en Verano: 37,1 °C/21,2 °C.
- Percentil Verano: 1%.
- Temperatura Seca Invierno: -3 °C.
- Percentil Invierno: 99%.

	DESCRIPCIÓN	CARGAS POR CALEFACCIÓN	CARGAS POR REFRIGERACIÓN
Carga sensible media en los locales		42 W/m ²	66,4 W/m ²
Espacios con cargas extremas en calefacción	Atrio + entrada	142 W/m ² 135 W/m ²	
Espacios con cargas extremas en refrigeración	Atrio + entrada		171 W/m ²
Total		48.220 W	71.300 W

- Cálculo para la ciudad de Barcelona

Los datos climatológicos para la localidad de Madrid son:

- Latitud: 41,28° N ; Longitud: 2,07 E.
- Altitud: 6 m.
- Temperatura Seca/Temperatura Húmeda en Verano: 30,2 °C/24,1 °C.
- Percentil Verano: 1%.
- Temperatura Seca Invierno: 2 °C.
- Percentil Invierno: 99%.

- Cargas térmicas en la ciudad de Barcelona

	DESCRIPCIÓN	CARGAS POR CALEFACCIÓN	CARGAS POR REFRIGERACIÓN
Carga sensible media en los locales		36 W/m ²	70 W/m ²
Espacios con cargas extremas en calefacción	Atrio + entrada	116 W/m ² 108 W/m ²	
Espacios con cargas extremas en refrigeración	Atrio + entrada		176 W/m ²
Total		40.830 W	74.560 W



1.3.5. Resultados obtenidos del estudio

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el estudio comparativo entre diferentes sistemas de climatización para las ciudades de Madrid y Barcelona.

En los siguientes gráficos se muestra un resumen de todos los costes implicados en la instalación y funcionamiento de estos sistemas durante un periodo de 15 años.

Estos costes se corresponden con la implementación de las diferentes soluciones, el consumo de energía en calefacción, refrigeración y ventilación, mantenimiento y renovación de equipos.

Para el primer caso se ha considerado la hipótesis de un incremento de la tarifa del gas y la electricidad del 3% y en el segundo caso del 5%.

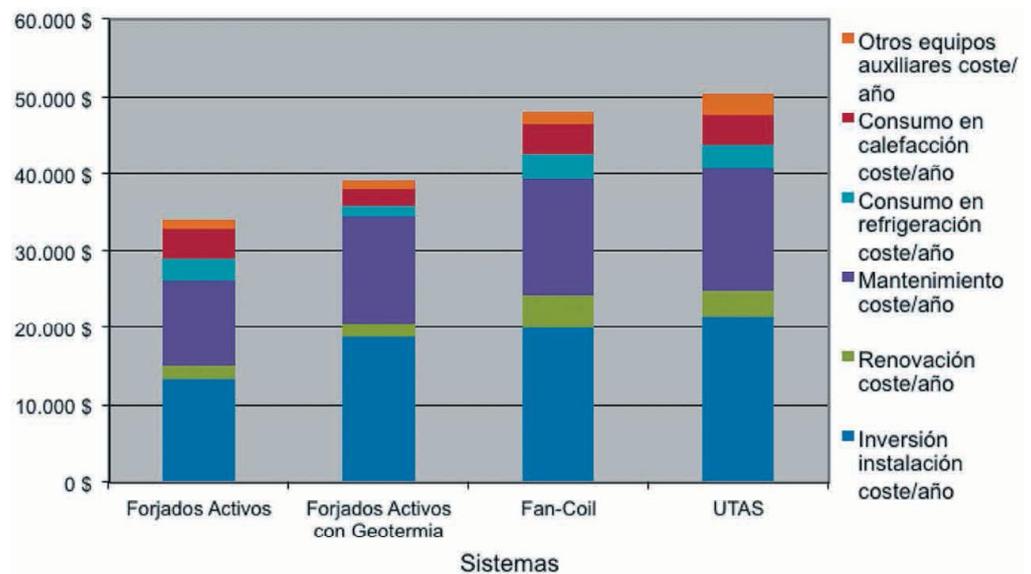


Gráfico 1.1. Madrid. Coste anual para un periodo de 15 años con incrementos en la tarifa de gas y electricidad del 3%.

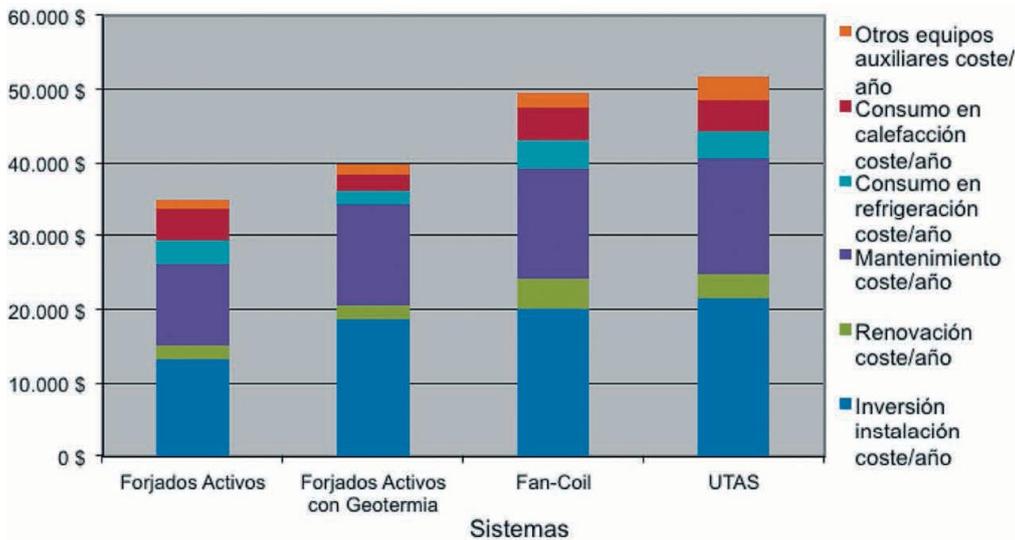


Gráfico 1.2. Madrid. Coste anual, para un periodo de 15 años con incrementos en la tarifa de gas y electricidad del 5%.

- Sobre las tarifas vigentes a fecha de septiembre de 2012.

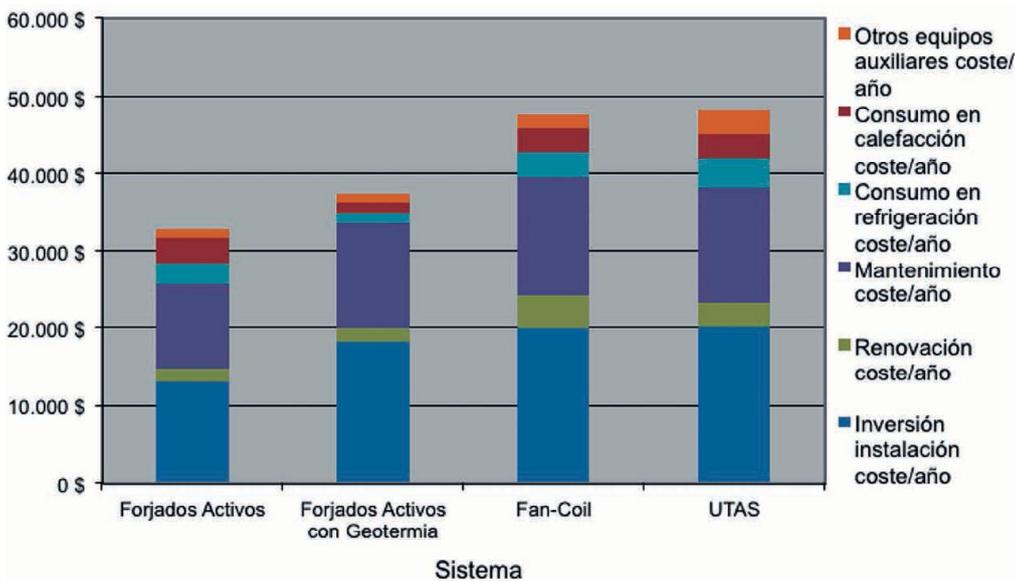


Gráfico 1.3. Barcelona. Coste anual para un periodo de 15 años con incrementos en las tarifas del gas y electricidad del 3%.

- Sobre las tarifas vigentes a fecha de septiembre de 2012.

1.3.6. Conclusión del estudio

En ambos casos la solución de Forjados Activos se presenta como el mejor sistema de climatización, independientemente de la fuente de energía y de la localización geográfica, en comparación con los sistemas más habituales para la climatización de edificios de uso terciario: Fan-Coils y UTAS.



Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

Los Sistemas de Forjados Activos, se presentan como la solución que menos consumo energético requiere y menores costes en inversión tiene, siendo al mismo tiempo el sistema que proporciona un mayor confort térmico para los usuarios.

1.4. CONCLUSIONES

El sistema de forjados activos no es un sistema de aire acondicionado, ni sustituye al sistema obligatorio de ventilación, sino que reduce al mínimo el uso de las tecnologías convencionales.

Cumple todos los certificados de construcción sostenible como LEED, BREEAM y DGNB y resulta igualmente rentable desde el punto de vista económico. El ahorro comienza en la fase de construcción y se mantiene a lo largo de toda la vida útil del edificio. Reducción de los costes de inversión y explotación entre el 30% y el 50%, gracias al empleo de unidades de refrigeración y calefacción más pequeñas, al igual que en el caso de los conductos de aire necesarios para conseguir los niveles de higiene exigidos.

Las ventajas de los sistemas Uponor por Forjados Activos son:

- El sistema más confortable: al no generar ningún tipo de ruido, proporcionar una temperatura uniforme y ser higiénico y saludable. Es ideal para climatizar edificios no residenciales con horarios de ocupación similares a lo largo de todo el año.
- Bajos costes de instalación, operativos y de mantenimiento.
- Instalación rápida y mejor control de calidad gracias a su técnica de construcción prefabricada.
- Perfecto para la integración de fuentes de energía renovables.
- Ideal para los edificios sostenibles que incorporan un aislamiento eficaz y protección contra el sol.
- Reducción de la altura del edificio y de los materiales necesarios, ya que no necesita falsos techos.
- Sistema invisible que confiere la máxima libertad para el diseño arquitectónico y de interiores.
- Control inteligente.



Foto 1.1. Instalación de sistemas forjados.



2

AUMENTO DE LA INERCIA TÉRMICA EN EDIFICIOS MEDIANTE EL USO DE ACRISTALAMIENTOS ACTIVOS CON CÁMARA DE AGUA

Fernando del Ama Gonzalo
Alberto Alonso González
Juan Antonio Hernández Ramos
IntelliGlass



2.1. INTRODUCCIÓN

La energía solar es intermitente por naturaleza debido a los movimientos de rotación y traslación de la tierra y también debido a las condiciones meteorológicas de cada lugar. Además, es una fuente de energía que depende del tiempo y en muchas ocasiones no coincide la necesidad con la disponibilidad. Generalmente se requiere más energía, precisamente, cuando no hay radiación solar. Esto hace necesario que prácticamente todos los procesos de conversión fototérmica requieran de un sistema de almacenamiento para poder satisfacer las demandas en el momento que sean requeridas. En ocasiones, ni contando con sistemas de almacenamiento se pueden satisfacer todas las demandas, por lo que se hace necesario considerar además una fuente de energía auxiliar.

Los sistemas pasivos se usan generalmente en el acondicionamiento calorífico de edificios y, tanto lo que sirve de colector, como el sistema de almacenamiento, se encuentran incorporados en los distintos componentes de mismo edificio. Así forjados, muros o cimientos, son elementos colectores y almacenes de energía. El tipo de almacenamiento de energía utilizado en estos sistemas es generalmente por calor sensible (cambios de temperatura de los distintos componentes del edificio). Debido a que en estos sistemas las temperaturas de almacenamiento son bajas, usualmente menores de 40 °C, se requiere de grandes volúmenes del material que sirve como almacén. Por ejemplo, los muros o forjados de cubierta expuestos al sol pueden absorber energía durante el día y posteriormente cederla al interior del edificio durante la tarde o noche. La capacidad de almacenamiento de un material viene determinada por dos de sus propiedades: la densidad y el calor específico.

La ventaja del agua sobre los materiales pétreos es que tiene una gran capacidad calorífica, y por lo tanto tiene más capacidad de



Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

almacenamiento por unidad de volumen, que los materiales mencionados. Además el agua tiene la propiedad de poder transportar la energía, de manera que es un material capaz de almacenar y transportar energía calorífica.

El Código Técnico de la Edificación, frente a los tradicionales códigos prescriptivos, está basado en prestaciones y supone una mayor apertura a la innovación. Se justifica esta opción por la consideración de que los conocimientos y la tecnología de la edificación están en continuo progreso, de tal forma que la normativa promueve la investigación y no dificulta el progreso tecnológico.

El objetivo del requisito básico «Ahorro de energía» consiste en conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable, como consecuencia de las características tanto del proyecto, como de la construcción, uso y mantenimiento de un edificio. También se pretende que los edificios dispongan de instalaciones de iluminación adecuadas a las necesidades de sus usuarios y a la vez eficaces energéticamente.

Por lo tanto se abre un camino para investigar sobre envolventes de características tales que limiten adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno. También se fomenta la investigación en sistemas de control y regulación que optimicen el aprovechamiento de la luz natural, en las zonas que reúnan unas determinadas condiciones.

2.1.1. Almacenamiento de energía en agua

Diversos tipos de materiales líquidos, sólidos y combinaciones de líquidos y sólidos, pueden almacenar energía por cambios de temperatura. Esta energía almacenada es igual al cambio de energía interna que sufre el material al cambiar su temperatura y viene a ser igual al calor sensible (Q_s).

Una regla de tipo práctico para determinar si un material es apropiado para utilizarse como medio de almacenamiento, es que este debe ser capaz de almacenar entre 300 y 600 kJ/°C.-m² de área de

Aumento de la inercia térmica en edificios mediante el uso de acristalamiento con cámara de agua

tor, como mínimo. También encontramos que cuanto mayor sea la temperatura que pueda alcanzar el medio de almacenamiento, tanto menor será el tamaño del sistema, aunque las pérdidas se hacen más evidentes. Por ejemplo, 1.000 litros de agua pueden almacenar aproximadamente 84 MJ de energía cuando su temperatura aumenta de 30 a 50 °C y 168 MJ cuando la temperatura varía de 30 a 70 °C. Nótese que se requieren aproximadamente 2,5 m³ de rocas para almacenar la misma cantidad de energía con los mismos incrementos de temperatura.

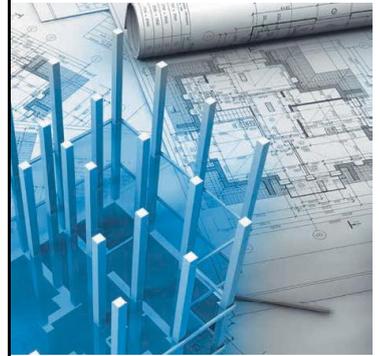
El agua es el medio ideal de almacenamiento para sistemas activos y pasivos, debido a que tiene una gran capacidad calorífica y por lo tanto mayor capacidad de almacenamiento. El agua puede almacenar casi cinco veces más energía (4.186 kJ/kg °C) que la que puede almacenar la misma masa de roca o piedra (0,88 kJ/kg °C). Además, el medio de transporte de energía se hace a través de la misma agua.

Algunas desventajas que se tienen al utilizar el agua como medio de almacenamiento, es que se necesitan depósitos que generalmente son grandes y caros, se oxidan si son de metal y hay grandes pérdidas de calor por conducción y convección que tienen que ser evitadas utilizando aislantes. Otro aspecto a considerar es que la energía es liberada a diferentes temperaturas.

2.1.2 Eficiencia energética de los cerramientos de vidrio

La arquitectura actual dota a los edificios de grandes superficies acristaladas para incrementar la luminosidad de los mismos. Sin embargo, el vidrio es un mal aislante térmico que además permite el paso de gran parte de la radiación solar. Todo ello incrementa en gran medida el gasto de energía en climatización.

Para solventar los problemas energéticos que plantea el uso del vidrio en la edificación han ido surgiendo toda una serie de nuevas tecnologías: acristalamientos dobles y triples, tratamientos de capa, vidrios de control solar, vidrios de baja emisividad, etc. Pero el principal inconveniente de estas soluciones radica en la falta de inercia térmica de estos cerramientos ligeros. Los acristalamientos activos combinan la transparencia y ligereza del vidrio con la inercia térmica de soluciones pesadas y opacas.





Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

La principal característica de los acristalamientos activos es su cámara de agua en circulación. Debido a sus propiedades espectrales, el agua captura la mayoría de la radiación solar infrarroja, dejando pasar la componente visible. Esto hace que los acristalamientos presenten la misma luminosidad que un acristalamiento convencional, disminuyendo al mismo tiempo el flujo de calor hacia el interior. Además, la circulación del agua permite utilizar, almacenar o disipar la energía capturada según convenga.

Todo esto permite a los edificios equipados con acristalamientos activos emplear estrategias de ahorro energético que no son posibles con acristalamientos o cerramientos convencionales. Para poder aplicar estas estrategias los acristalamientos activos no funcionan aisladamente, sino que se integran en un sistema capaz de dotarlos de inercia térmica.

El sistema de vidrio activo se puede utilizar en interiores con una doble función: división espacial y climatización. Esto permite incrementar la superficie de intercambio de calor respecto de otros sistemas, disminuyendo el salto de temperaturas necesario e incrementando el rendimiento. Adicionalmente, se reducen los gradientes térmicos en el recinto obteniendo una temperatura interior más uniforme y mejorando la sensación de confort. Además de todo esto, son compatibles con otros sistemas de refrigeración mediante agua como suelo radiante o *fan-coils*.

Sin embargo, la aplicación más interesante del sistema de vidrios activos es su uso en exteriores: fachadas, muros cortina, lucernarios y cubiertas. Es aquí donde pueden aprovecharse plenamente las especiales características de estos acristalamientos para reducir el consumo de energía. Especialmente en aquellos edificios con grandes superficies acristaladas. En estos edificios, la carga térmica por radiación supone una gran parte del gasto de climatización. Los acristalamientos activos actúan disminuyendo la radiación que penetra al recinto. Además al contrario que en otro tipo de soluciones como los vidrios de control solar, dicha radiación no es expulsada hacia el exterior, sino que es capturada por el agua. Esto permite desarrollar toda una nueva serie de estrategias como almacenamiento estacional o diario de energía en depósitos de inercia, la homogeneización de fachadas, el amortiguamiento de la onda térmica en el acristalamiento y técnicas de enfriamiento nocturno. Todas estas técnicas o estrategias contribuyen a reducir el consumo energético de un edificio.

2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS VIDRIOS ACTIVOS CON CÁMARA DE AGUA

El sistema de climatización mediante vidrios activos consta de dos circuitos, uno primario y otro secundario. En la Figura 2.1. se describe el esquema de principio de una instalación. El circuito primario comprende una bomba de circulación y un sistema para calentar o enfriar agua. El secundario consta de un circulador que distribuye el agua a las unidades terminales: los vidrios interiores o de fachada. Los fluidos de los dos circuitos no se mezclan. La transferencia de energía se realiza a través de un intercambiador de calor de placas. La misión del circuito primario consiste en proporcionar la energía necesaria, ya sea de calefacción o enfriamiento, al fluido que circula por los vidrios. La fuente de energía del circuito primario debe proporcionar agua a la temperatura deseada con el mínimo gasto energético posible. Para ello se recomienda utilizar colectores solares para calentar agua en invierno y bombas de calor geotérmicas o depósitos de agua para disipar calor en verano. El control de la temperatura interior se realiza desde una centralita que, mediante un sistema todo/nada, arranca la circulación del sistema secundario. La bomba de impulsión debe vencer la pérdida de carga que se produce a lo largo de circuito. Debido a que las velocidades que existen en el sistema son muy bajas, esta pérdida de carga es muy reducida y, consecuentemente, la potencia necesaria de la bomba es pequeña.

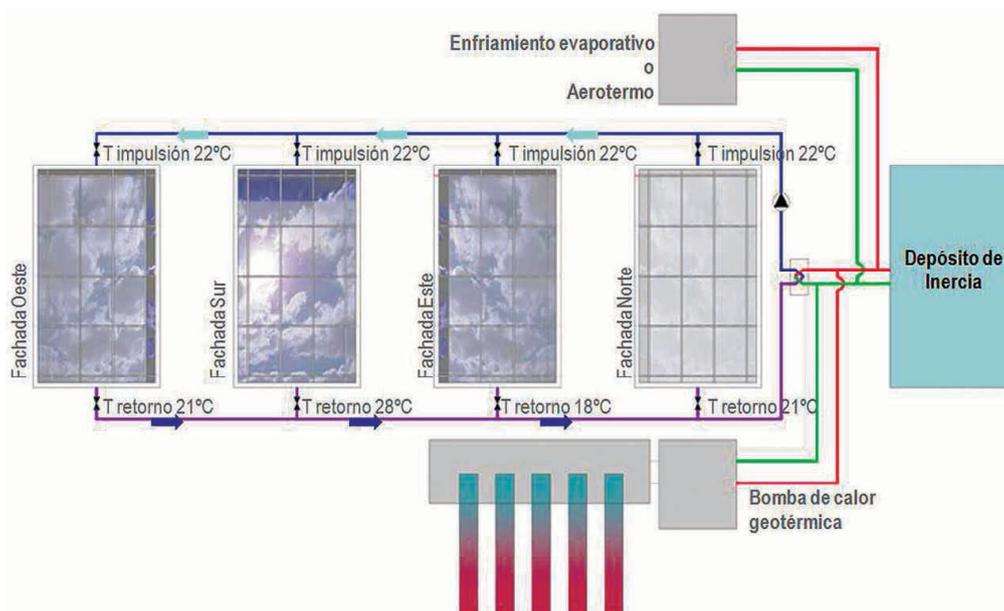
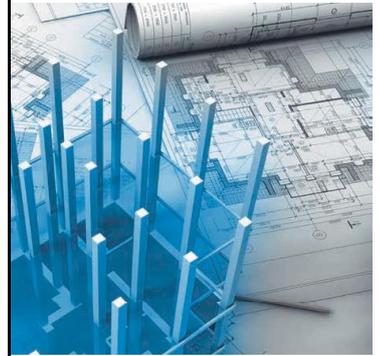


Figura 2.1. Esquema de principio de una instalación de vidrios activos en fachada.





El sistema del primario puede estar dotado de un depósito de inercia que hace las veces de estabilizador térmico. Muchos días a lo largo del año la temperatura media está próxima a la de confort. Utilizando un depósito de agua como una gran inercia térmica el agua del primario puede mantenerse muy estable y próxima a la temperatura media diaria. Así, una estrategia consiste en hacer recircular el agua del primario a través del depósito de inercia para mantener estable la temperatura del agua de las ventanas. En la Figura 2.1. se puede observar un esquema de principio de la instalación en la que la inercia térmica se consigue con la combinación de depósitos de agua enterrados y un sistema de sondas geotérmicas. Para aumentar la capacidad de disipar calor, se puede introducir un aerotermo en el circuito primario.

2.2.1. Vidrio Activo en fachadas y cubiertas

Para resolver la envolvente arquitectónica del edificio en un clima extremo se propone la utilización de un acristalamiento con una cámara de agua en circulación para la eliminación de la carga térmica solar antes de que ésta entre en el edificio. Gracias al apantallamiento de la radiación solar por el agua se evita la aparición del efecto invernadero en el interior del local. El triple acristalamiento combina un elevado aislamiento, una gran capacidad de bloqueo de la radiación infrarroja y una alta transmisión lumínica. El vidrio activo colocado en la fachada y en los lucernarios bloquea el paso de la radiación solar directa, que es del orden de 500-1.000 W/m². Así, el calor aportado o evacuado por la cámara de agua en circulación deberá ser aportado o evacuado por el intercambiador de calor y, posteriormente, por los pilotes geotérmicos, o los depósitos de inercia.

En invierno, si consideramos una temperatura interior de confort de 20 °C, las pérdidas a través del acristalamiento exigen un caudal de circulación por los vidrios de fachada mucho menor que en el caso de verano. Si la temperatura del agua se sitúa por encima de la temperatura de confort, la envolvente de vidrio se convierte en un radiador de calor hacia el interior del edificio. Con respecto al ahorro energético, la instalación de estos vidrios en los huecos de la fachada, combinado con un sistema de producción de energía gratuito, reduce el consumo energético asociado a la calefacción o la refrigeración del edificio entre un 40 y un 70%.

Aumento de la inercia térmica en edificios mediante el uso de acristalamiento con cámara de agua

En la Figura 2.2. se observa el comportamiento del triple acristalamiento al exterior en condiciones de verano o de invierno. En verano el calor debido a la radiación solar es absorbido por la cámara de agua. Si la temperatura de esta cámara es inferior a la del interior, se puede eliminar la carga interna debida a la ocupación de personas y a los equipos. En invierno la cámara de aire minimiza las pérdidas de energía hacia el exterior y si la temperatura del agua es mayor que la del interior, la fachada puede funcionar como un radiador transparente.

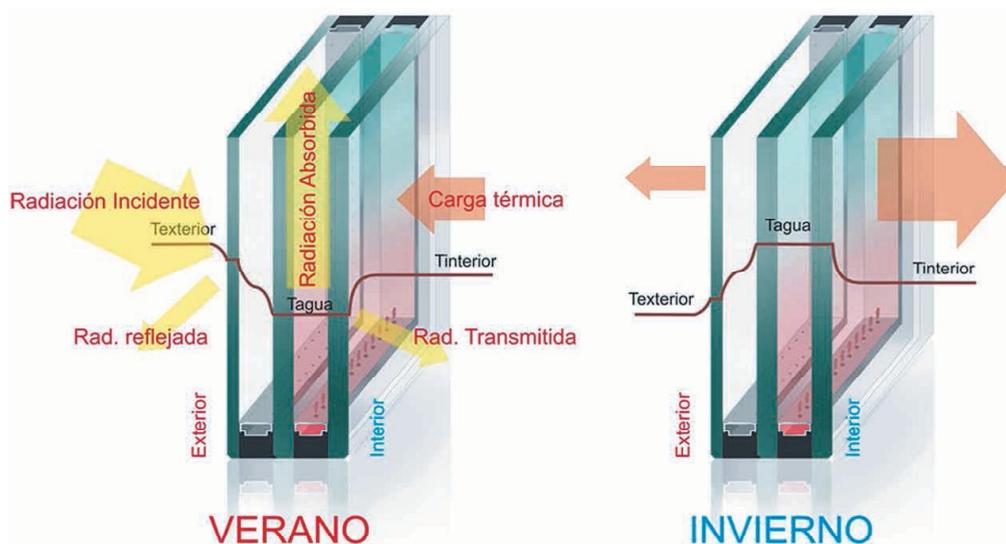
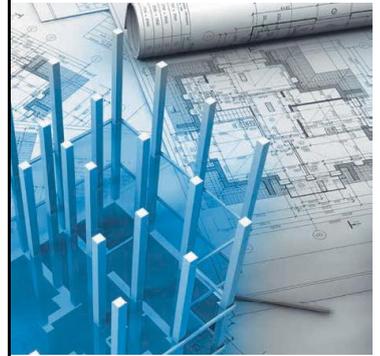


Figura 2.2. Comportamiento del triple acristalamiento activo en verano e invierno.

Cuando los vidrios activos se colocan en una fachada expuesta al sol, la radiación se transforma en energía calorífica que eleva la temperatura del agua. La circulación forzada del agua transporta el calor absorbido hasta el intercambiador de calor. Este elemento se encarga de enfriar el agua antes de su retorno a la cámara. Para niveles de radiación solar entre $500\text{-}1.000\text{ W/m}^2$, un caudal de agua en la cámara entre $0.05\text{-}0.1\text{ kg/(s m}^2)$ es suficiente para transportar todo el calor absorbido por el agua y asegurar variaciones de temperatura en la cámara menores de cinco grados centígrados. De esta manera, se consigue una cámara de agua isoterma que bloquea el paso de la radiación infrarroja. En ausencia de radiación solar exterior, se hace circular agua por la cámara a una temperatura específica controlada por la temperatura del intercambiador de calor. El calor que se cede en el intercambiador de placas se puede disipar en un depósito enterrado con el suficiente volumen para que la temperatura no aumente más de cinco grados durante las horas de sol. Durante la noche debe funcionar un dispositivo que disipe en calor y baje la temperatura del depósito.



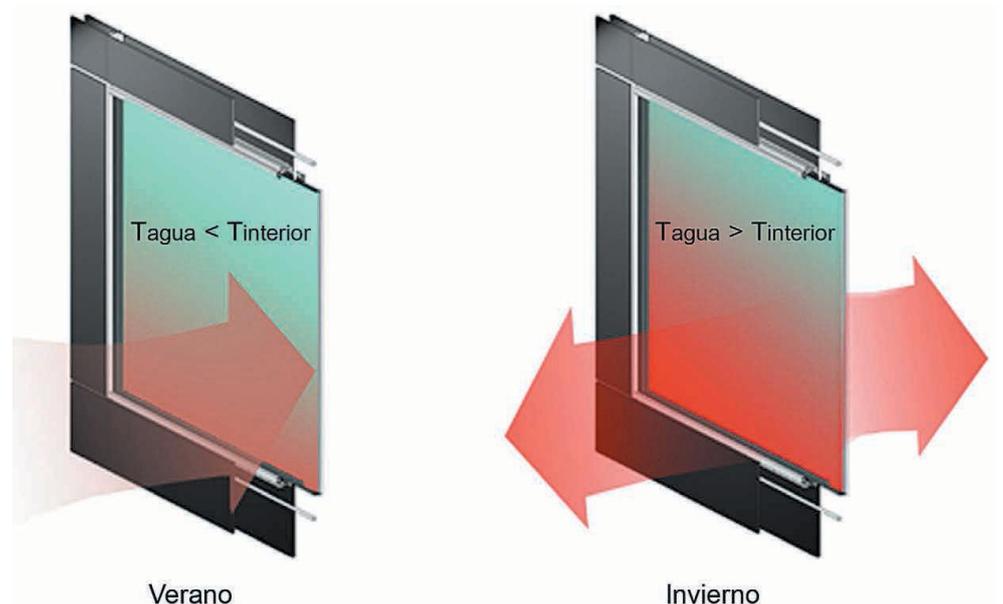


2.2.2. Vidrio Activo como partición interior

En el interior de los edificios se puede utilizar con una doble función: división espacial y superficie radiante para calefacción y refrigeración. El sistema proporciona una sensación de confort porque contribuye a homogeneizar la temperatura, tanto en invierno como en verano. Se eliminan los gradientes térmicos y se aumenta la superficie de intercambio de calor y frío. Además, las particiones de vidrio activo son compatibles con cualquier suelo radiante.

El vidrio activo se monta en una perfilaría que lleva integrados los tubos de agua que lo abastecen. Mediante una bomba de circulación el agua es impulsada por un circuito cerrado. En este circuito, el agua pasa por un intercambiador de calor que permite disminuir o elevar su temperatura. A través del caudal de circulación de la lámina de agua, se controla el incremento de temperatura del fluido que en ningún caso es superior a 2-3 grados centígrados. Así, conseguimos evitar gradientes térmicos en el acristalamiento. Posteriormente, este calor es evacuado en un intercambiador de calor.

Con respecto al ahorro energético, el vidrio activo instalado en los tabiques interiores permite reducir el consumo asociado a la calefacción o la refrigeración del edificio. La temperatura de preparación del agua para el sistema es próxima a la temperatura de confort y en consecuencia el COP del sistema de producción de frío o de calor aumenta sustancialmente.



2.3. INERCIA TÉRMICA

Esta propiedad de los materiales se aprovecha para que la temperatura del interior de los edificios permanezca estable a lo largo del día. En invierno, si los muros y las cubiertas de los edificios cuentan con una gran masa, durante el día se calientan, y por la noche, van cediendo el calor al ambiente del local. En verano, durante el día, absorben el calor y por la noche se vuelven a enfriar con una ventilación adecuada, para prepararlos para el día siguiente. Un adecuado uso de esta propiedad puede reducir el uso de energía en los sistemas de climatización. La arquitectura popular española siempre ha sido sensible a esta característica de nuestro clima y es común encontrar gruesos muros de piedra o de adobe en edificios de zonas calurosas.

La arquitectura actual se ve condicionada por factores económicos y de aprovechamiento del espacio y se caracteriza por el uso de cerramientos ligeros que tienen buen comportamiento en climas fríos. Sin embargo, en climas calurosos los cerramientos ligeros penalizan el confort interior y sólo son viables con un excesivo gasto de energía eléctrica.

2.3.1. Problemas asociados a la falta de inercia térmica

Los edificios con cerramientos ligeros manifiestan grandes oscilaciones de temperatura a lo largo del día, sobre todo si están expuestos a la radiación solar. Por otra parte, estas grandes variaciones de temperatura hacen que el sistema de climatización deba ser dimensionado en condiciones de carga pico, lo que implica un aumento en el consumo de la energía necesaria para la climatización, sobre todo en verano. Los cerramientos de vidrio no son ajenos a este tipo de problemas y añaden otro más: el paso de radiación solar a través de ellos. Esto provoca zonas con diferentes condiciones de temperatura en el interior de una misma sala, con la consiguiente falta de confort que sufren las personas que la ocupan.

2.3.2. Inercia térmica mediante acristalamientos activos

La tecnología del vidrio activo trata de solucionar los problemas de excesivo gasto y de falta de confort asociados a los cerramientos de vidrio tradicionales. La inercia térmica en este sistema se desvincula del cerramiento y se puede llevar a pilotes geotérmicos, depósitos





Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

enterrados, aljibes o piscinas que pueden estar integrados en la cimentación o en el entorno del edificio. Se mantiene la transparencia del vidrio y la ligereza de los sistemas constructivos, como los muros cortina o los sistemas modulares.

Otra ventaja de los vidrios activos radica en que son compatibles con otros sistemas de climatización, como los *fan-coil*, el suelo radiante, el techo frío o las cimentaciones activas.

Por último, la inercia térmica de los vidrios con cámara de agua en circulación es variable. Esta propiedad es muy interesante, ya que en inviernos soleados puede interesar que la radiación solar caliente de forma gratuita el interior. En estos casos basta con parar la circulación del agua por la cámara y el calor del sol se cederá al interior. Cuando la radiación solar resulte excesiva se aumenta el caudal y el exceso de energía se disipa en los depósitos enterrados o en la piscina.

2.4. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

Para estudiar el comportamiento de los vidrios activos en relación con su inercia térmica variable, se van a presentar resultados de la simulación realizada con software de la empresa *IntelliGlass S.L.* Para llevar a cabo la evaluación de la demanda energética de un edificio se debe hacer una modelización de la edificación y, posteriormente, una simulación. Se considera que la edificación está caracterizada, desde el punto de vista energético, por los siguientes elementos:

- Cargas térmicas internas originadas por las personas, iluminación y máquinas.
- Temperatura interior.
- Inercia térmica interior por unidad de superficie que es está asociada a la masa y su calor específico de cerramientos, forjados y muebles.
- Coeficiente de absorción de la radiación solar que entra en el interior de la edificación. Este valor es un coeficiente medio que tiene que está asociado a los diferentes materiales y colores de las superficies interiores.
- Superficie en planta. Generalmente, las cargas de iluminación o los valores de la inercia térmica se dan por unidad de superficie en planta. Por lo tanto, para determinar los valores globales de inercia

Aumento de la inercia térmica en edificios mediante el uso de acristalamiento con cámara de agua

térmica interior o carga térmica interior, necesitamos conocer la superficie en planta total.

- El enfriamiento nocturno asociado a la ventilación natural o forzada permite refrigerar de forma gratuita los espacios interiores. Este intercambio de calor es proporcional al caudal de renovación, a la diferencia de temperaturas interior y exterior y a un coeficiente local de convección.

2.4.1. Simulación

Para evaluar el comportamiento de los vidrios activos, se muestran los resultados de la simulación de dos casos sencillos.

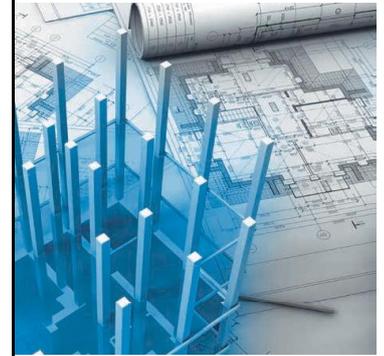
Caso 1

Se trata de una fachada sur de un edificio ubicado en Madrid. El esquema de principio es el que se explica en la Figura 2.4. Se trata de un ejemplo sencillo con vidrio activo conectado a un depósito de inercia a través de un intercambiador de calor de placas. Se realiza la simulación con dos volúmenes distintos de depósito.



Figura 2.4. Esquema de principio del Caso 1.

En la Figura 5 se puede observar como en invierno, con sol incidente sobre la fachada sur, la temperatura del vidrio sin cámara de agua puede alcanzar hasta los 50 °C, con oscilaciones de temperatura de 45 °C entre el día y la noche. Con el agua en circulación y el depósito de inercia se estabiliza la temperatura de las ventanas, con oscilaciones de 15 °C. A la vista de estos resultados se pueden plantear distintas estrategias de funcionamiento mediante la parada y la puesta en marcha de la circulación del agua.





Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

En verano, la radiación incidente sobre la fachada sur es menor que en invierno, debido a que el ángulo de incidencia del sol es casi perpendicular a la horizontal. Aún así la temperatura se eleva muy por encima del confort y las oscilaciones son muy grandes. Con la circulación del agua y el depósito de inercia se consiguen oscilaciones no superiores a 10 °C y se mantiene la temperatura por debajo de los 33 °C.

El incremento de la inercia térmica mediante los acristalamientos activos con agua permite reducir entre 4 y 5 veces las oscilaciones térmicas de la fachada.

La temperatura media del acristalamiento va ligada a la temperatura media del depósito.

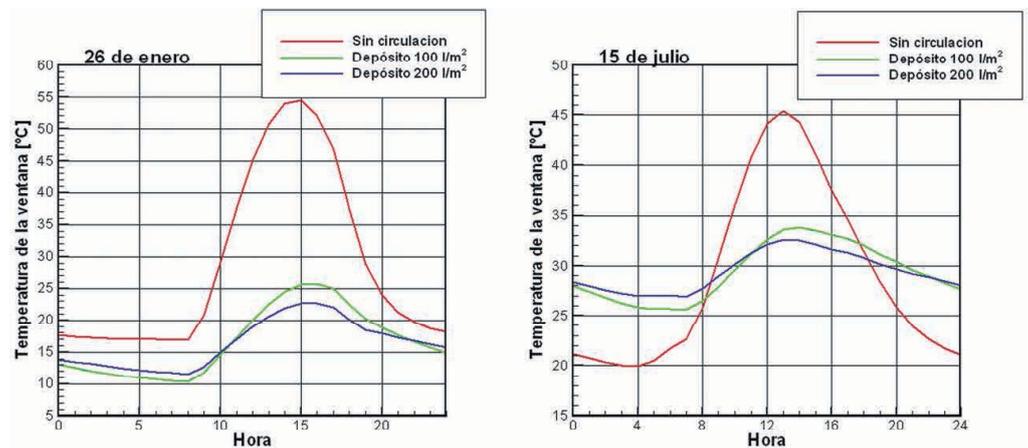


Figura 2.5. Amortiguamiento térmico en fachada sur con diferentes volúmenes de depósito de inercia.

Como conclusión se puede apreciar que la inercia térmica debida al depósito reduce las variaciones de temperatura que se producen en una fachada de vidrio tradicional. También se observa que cuanto mayor es el volumen del depósito, menor es la oscilación de la temperatura a lo largo de un día. La inercia térmica del sistema es variable y si la circulación de agua se para en días soleados de invierno, se puede aprovechar el calor del sol para calentar el interior del edificio.

Caso 2:

En la Figura 2.6. se observa el esquema de principio del caso que se ha simulado. En un edificio ubicado en Madrid se dispone una fachada sur de vidrio activo. Para disipar el exceso de energía se utiliza un depósito de inercia como en el caso anterior. La diferencia consiste en el uso de un aerotermo para aumentar la disipación de energía durante la noche.



Figura 2.6. Esquema de principio del Caso 2.

La Figura 2.7. muestra la evolución de la temperatura de las ventanas en dos momentos diferentes del año considerando que el depósito de inercia puede estar aislado o no. A la izquierda se puede observar la gráfica correspondiente a un día soleado de enero. Cuando el depósito no está aislado, la temperatura del agua que circula por la ventana puede bajar hasta los 10 °C. Si el depósito está aislado, la temperatura de las ventanas no baja de 21 °C durante la noche y puede llegar a subir a 30 °C durante las horas centrales del día. Por lo tanto, se valida la opción de aislar el depósito para condiciones de invierno. Con el depósito aislado, se simulan las condiciones de verano.

A la derecha se puede observar la evolución de la temperatura de las ventanas en un día de julio. Con el depósito aislado, la temperatura de la ventana sube por encima de los 33 °C. Si se pone a funcionar el aerotermino para aumentar la disipación, la temperatura de las ventanas se mantiene entre valores que van de los 24 °C a los 28 °C, sin grandes oscilaciones y en rangos de confort.

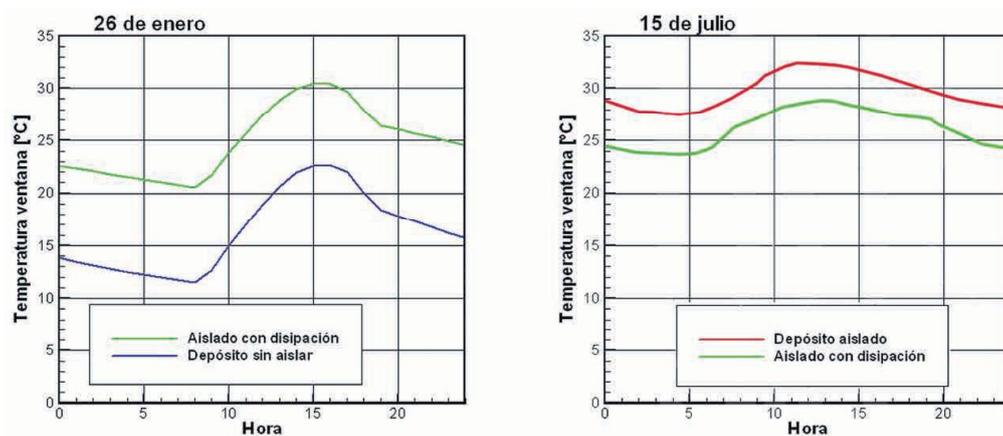


Figura 2.7. Temperatura de la ventana en verano e invierno con diferentes estrategias de aislamiento y disipación de energía en el depósito de inercia.



Se puede apreciar que es conveniente aislar el depósito, tanto en verano como en invierno. La inercia térmica debida al depósito reduce las variaciones de temperatura y la disipación reduce la temperatura del depósito en verano.

El objetivo es mantener el depósito a una temperatura entre 20-25 °C con el mínimo coste energético. Para ello, en invierno, se pretende capturar y almacenar la radiación solar que incide sobre el acristalamiento. En verano se debe disipar el exceso de energía. En la Figura 8 se puede observar la evolución anual de la temperatura de las ventanas del caso 2 considerando la inercia térmica del depósito.

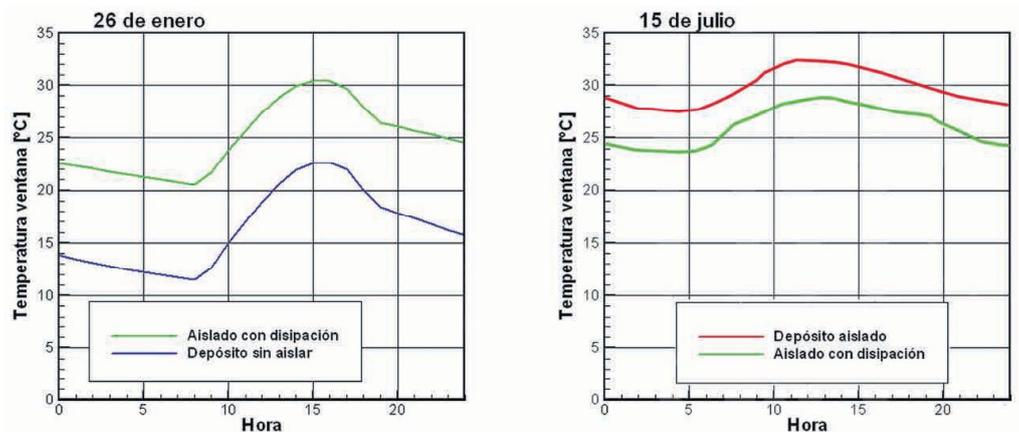


Figura 2.8. Temperatura de la ventana a lo largo del año con diferentes estrategias utilizadas en el depósito de inercia.

2.5. CONCLUSIONES

Los vidrios activos se están introduciendo en el mercado de la construcción como un medio eficaz para solucionar problemas energéticos asociados a grandes superficies acristaladas. El sistema de vidrios activos evita el efecto invernadero impidiendo que la radiación solar penetre en el interior y proporciona un aumento de la inercia térmica del muro que atenúa las variaciones térmicas internas. El vidrio activo atenúa el exceso de radiación solar que atraviesa un vidrio convencional. Esto, unido a la mayor inercia térmica que caracteriza estos vidrios, aumenta el ahorro de energía en calefacción y refrigeración, así como el confort de los usuarios del edificio.

En este trabajo se ha simulado energéticamente una edificación con vidrio activo en fachada sur y depósito de agua enterrado para controlar la inercia del edificio. Se ha modelado mediante un sistema de ecuaciones de evolución las temperaturas de todos los elementos

Aumento de la inercia térmica en edificios mediante el uso de acristalamiento con cámara de agua

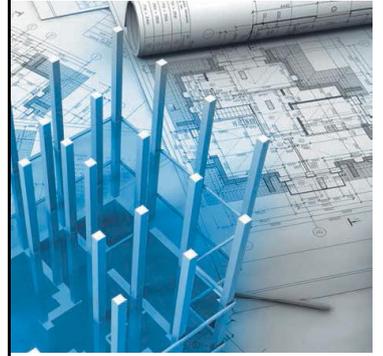
que intervienen en el sistema. Se ha mostrado mediante una simulación energética durante un año que la mayor parte de los días la edificación se climatiza con el calor acumulado en los depósitos de inercia y, por consiguiente, sin gasto energético alguno. Para los meses más calurosos, un aerotermo es suficiente para disipar la energía interior y alcanzar la temperatura de confort no siendo necesario ningún dispositivo adicional de climatización.



3

ESTRUCTURAS TERMOACTIVAS EN EDIFICIOS DE OFICINAS

Antonio Villanueva Peñalver
Ramón Gutiérrez Fernández-Cuervo
Idom



3.1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de forjados activos o estructuras termoactivas utilizan la masa térmica de la estructura del edificio para mejorar su comportamiento energético. Para poder conocer las consecuencias de un aumento de la masa térmica de un edificio en su comportamiento energético es muy importante analizar en detalle los dos efectos que produce un aumento de inercia en cualquier sistema dinámico, en general, ante un mismo estímulo externo:

- El primero de estos efectos es una disminución en la amplitud de la respuesta del sistema. Es decir, un mismo estímulo afecta en menor medida al sistema inercial frente al no inercial.
- El segundo es un retardo en la respuesta. Es decir, la consecuencia del estímulo tarda más en aparecer en un sistema inercial frente al no inercial.

Estas dos características implícitas, por lo tanto, a un aumento en el uso de la masa térmica de un edificio son las razones principales por las que los sistemas de forjados activos suponen grandes ahorros de energía en los mismos.

La siguiente figura permite ilustrar el efecto de la inercia ante un mismo estímulo periódico (variación temperatura exterior entre el día y la noche o la variación de la carga térmica interna en función de horarios de uso del edificio) en cuatro sistemas de inercia creciente:

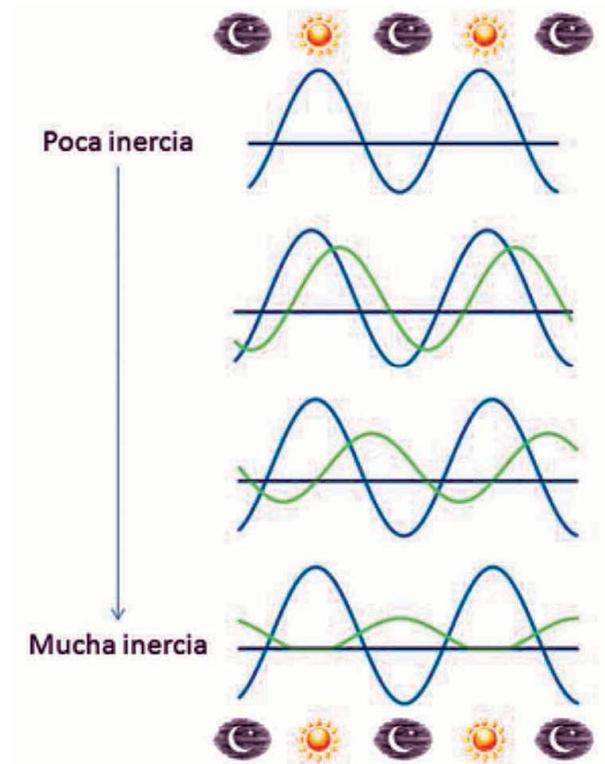


Figura 3.1. Sistemas de inercia.

La línea azul es el estímulo. En concreto se representa la potencia instantánea de calor que se introduce en el sistema. En este ejemplo, esta variable adquiere valores positivos durante el día y negativos, aunque menores, por la noche. Los positivos se deben a la radiación solar, a una mayor temperatura exterior diurna y a las grandes cargas internas típicas de un edificio de oficinas en horario de funcionamiento (personas, ordenadores, iluminación, etc.). Los negativos se deben a una menor temperatura exterior nocturna y a la radiación hacia la bóveda celeste durante la noche.

La línea verde es la respuesta del sistema. En concreto, representa la potencia instantánea de calor que llega al ambiente interior (en el caso de poca inercia no puede observarse la línea verde por estar superpuesta a la azul). Es, pues, la potencia a contrarrestar con el sistema de climatización del edificio.

En el eje de abscisas, como es habitual, se representa el tiempo. La distancia entre dos iconos iguales, dos soles o dos lunas, suponen 24 horas.

El primero de los efectos de un sistema inercial, la disminución de la amplitud de la línea verde, supone, para el sistema energético de un edificio, dos efectos ligados inseparablemente entre sí:

- En primer lugar, el valor máximo que alcanza la curva verde disminuye. De modo que la potencia requerida por el sistema de climatización es menor cuanto mayor es la inercia. Esto supone un ahorro en inversión de equipos y un aumento de espacios disponible en el edificio.
- En segundo lugar, se observa cómo en el ejemplo de mayor inercia no existe demanda de calor en el edificio, o lo que es lo mismo, la curva verde no pasa por debajo del eje de abscisas. Esto permite explicar por qué en edificios de oficinas, durante los meses de invierno, y en el caso de no disponer de aprovechamiento de la inercia térmica del edificio, es tan habitual comenzar el día introduciendo calor y terminarlo introduciendo frío. Así, un edificio con suficiente inercia térmica debería poder evitar este efecto. Esto puede suponer un importante ahorro energético para el mismo.

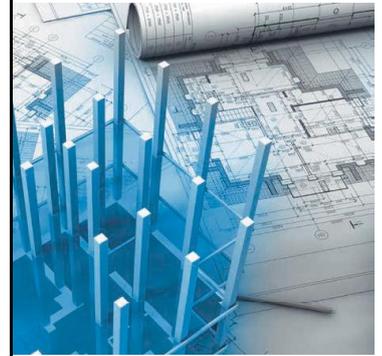
El otro beneficio de la inercia es el retardo en la respuesta. Puede observarse cómo la curva verde se va retrasando según aumenta la inercia del sistema hasta el punto en el que el edificio demanda introducir el frío durante la noche. Este efecto supone un gran beneficio energético debido a que por la noche los equipos de producción de frío tienen un rendimiento mayor, mejorándose de este modo la eficiencia energética del sistema.

Éste último efecto lo llamamos desacoplamiento entre producción y demanda. Esto es, en un edificio sin inercia, las curvas azul y verde se superponen. Es decir, es necesario producir la máxima cantidad de frío justo cuando más calor hace en el exterior y menor rendimiento ofrecen los equipos de producción de frío. Se puede decir, entonces, que la producción de frío y su demanda están acopladas. Sin embargo, un edificio de mucha inercia permite que el frío producido por la noche absorba el calor generado durante el día. La producción de frío y su demanda están, en este caso, desacopladas.

Ha de tenerse en cuenta que para que se produzcan todos estos beneficios teóricos se ha de cumplir que el elemento inercial sea solidario al sistema, es decir, que se encuentre perfectamente conectado energéticamente al sistema o, dicho de otro modo, que entre el elemento inercial y el sistema no existan resistencias al flujo energético.

La realidad, como siempre, es más compleja.

El caso que nos concierne intenta aprovechar la inercia térmica de una estructura de un edificio en el sistema energético del mismo cu-





Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

Las variables más importantes son las concernientes a las condiciones de confort interior de los usuarios (temperatura interior del aire, etc.).

Y en este caso, es evidente que existen resistencias al flujo energético que posibilitan que puedan existir diferencias entre la temperatura que vaya adquiriendo la estructura y la del ambiente interior, en concreto, la de la temperatura de ambiente interior del aire.

De ahí la necesidad de un sistema mecánico que permita optimizar y controlar la interacción entre la masa térmica de la estructura y el ambiente interior. De ahí la necesidad de las estructuras termoactivas en la edificación.

Estos sistemas son, además, especialmente interesantes en edificios de oficinas porque, habitualmente estos edificios:

- Tienen unos ratios elevados de consumo energético debidos a su climatización. De modo que el potencial de mejora es muy grande.
- Requieren de unas condiciones de confort muy estables a lo largo de muchas horas.
- Durante los meses de invierno, tienen una alternancia energética día/noche muy importante. Por el día requieren disipar mucho calor y por la noche llegan a enfriarse demasiado llegando a requerir una generación de calor adicional para establecer unas condiciones adecuadas de confort a primera hora de la mañana del día siguiente.



Así, en este capítulo, se tratarán todos los aspectos relacionados con los sistemas de estructuras activas en edificios de oficinas en España y, como ejemplo del potencial de su implementación real, se incluirán detalles de un edificio de oficinas de estas características en España, la sede de la Ingeniería IDOM en Madrid.



3.2. EL PROBLEMA ENERGÉTICO

En Europa, el 50% de la energía que se consume se produce en el exterior, o lo que es lo mismo, hay que comprarla a países que no pertenecen a la Unión. En España este problema es aún mayor: el 74% de la energía proviene de fuera de España. Dicho de otro modo, toda la producción energética de España es, aproximadamente, sólo la cuarta parte de la que consumimos. La factura económica que esta compra masiva de energía es equivalente a todos los ingresos de España correspondientes al sector del turismo.

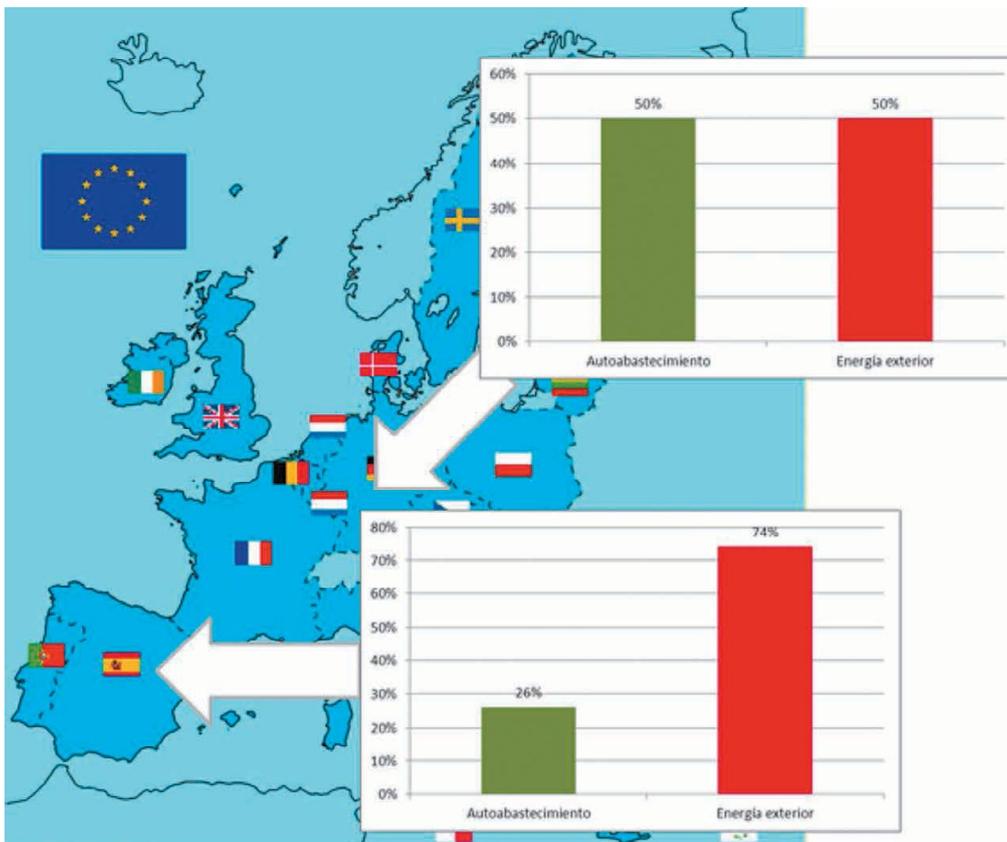


Figura 3.2. Autoabastecimiento energético. Europa y España.

El consumo de energía final en España en el año 2010 fue de 99.830 ktep. La diferencia entre la energía primaria y la energía final fue de



32.284 ktep, lo que representa, en comparación con la energía final consumida, un 24,4%. Es decir, las pérdidas del sistema debido a procesos de transformación, refinación u otras serían equivalentes por orden de magnitud a un cuarto sector, de mayor peso que el residencial y equivalente al industrial. A estas pérdidas habría que añadir las que se producen una vez es entregada la energía final.

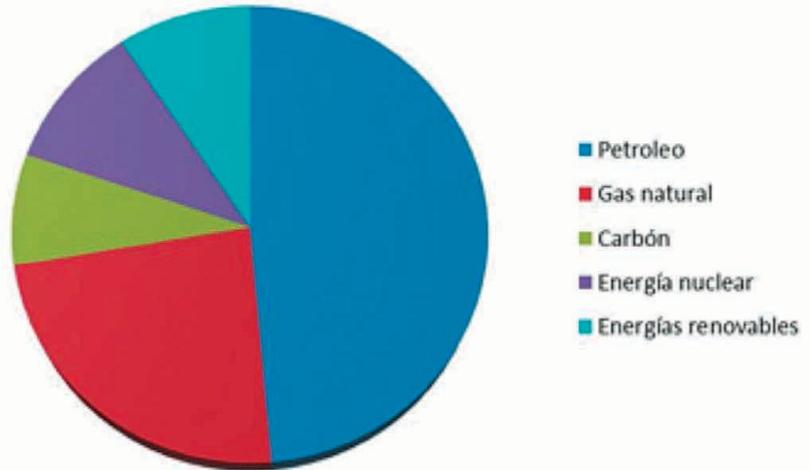


Figura 3.3. Energía primaria. España 2010.

La generación eléctrica consumió 48.976 ktep, lo que representa el 37,1% de la energía primaria. El uso final del petróleo refinado fue de 54.551 ktep, destinado mayoritariamente al sector transporte.

Si consideramos estos dos últimos datos, es fácil suponer la incertidumbre que puede existir en los próximos años a consecuencia del cambio de la economía del petróleo o de la llegada del coche eléctrico. Tenemos entre manos un serio problema energético.

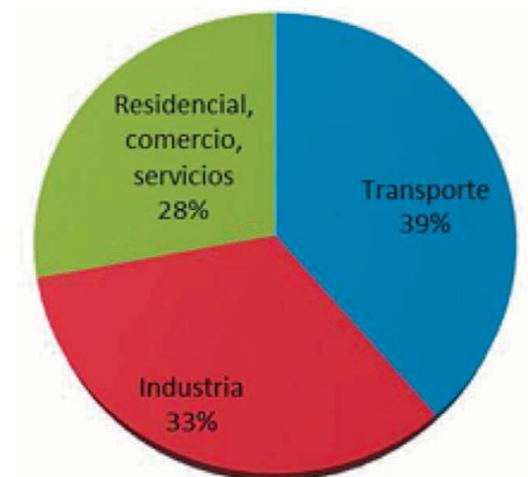


Figura 3.4. Energía final. España 2010.

En concreto, el sector edificatorio español ha supuesto en 2010 un 28% del consumo energético del país. Valor que irá incrementándose hasta las tendencias actuales europeas que rondan el 40%. Tenemos también entre manos, por lo tanto, un serio problema energético en los edificios.

La Directiva Europea 2010/31 del 19 de Mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de edificios tiene por objetivo reducir la dependencia energética de la Unión Europea, proponiendo las siguientes metas para el año 2020:

- 20% reducción de consumo.
- 20% reducción de emisiones CO₂.
- 20% producción con Energías renovables.

Y establece que todos los edificios nuevos que se construyan a partir del 2020 sean de consumo de energía casi nulo. Y en el caso de los edificios públicos sitúa este requisito a partir de 2018.

Si tenemos en cuenta que el proceso edificatorio completo de un proyecto, desde que se decide realizar la inversión hasta que se inaugura el edificio, suele rondar los tres años, se puede decir en la práctica, que cualquier edificio que esté planificándose diseñar en la actualidad está muy cerca de tener que ser un edificio de consumo de energía casi nulo.

Sin embargo, parece que en el mercado inmobiliario actual no existe suficiente oferta de este tipo de edificios diseñados para casi no consumir energía.

Por ello, se presenta a continuación la tecnología de las estructuras activas como una de las vías seguras, como se verá más adelante, para atajar el problema energético actual de los edificios y, en línea con la Directiva Europea, lograr así diseñar edificios de oficinas de consumo de energía casi nulo.

3.3. DISEÑO DE UN EDIFICIO DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO

Para diseñar un edificio de consumo de energía casi nulo debe tenerse en cuenta este objetivo desde la primera fase conceptual del proyecto.





Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

Es bien sabido que las mejores oportunidades de éxito durante el proceso de diseño de un proyecto se encuentran en las primeras fases del mismo. Cuanto más avanzado se encuentra el diseño de un proyecto, más rígido a los cambios es y más costes implica llevarlos a cabo.

Sin embargo, durante mucho tiempo ha sido habitual que los aspectos energéticos de un edificio sólo se han comenzado a tener en cuenta a la hora de dimensionar los equipos de climatización. Consideramos que por esta vía resultará imposible diseñar y construir edificios de consumo casi nulo.

Por otra parte, resulta fundamental un planteamiento multidisciplinar de todas las fases de diseño de un proyecto. Especialistas energéticos deben trabajar desde las primeras tomas de decisiones junto con los arquitectos para identificar las mejores oportunidades energéticas en el diseño y ser capaces de cuantificar las consecuencias energéticas de cada posible alternativa.

De modo que resulta de vital importancia ordenar adecuadamente las prioridades entre los diferentes aspectos energéticos de un edificio durante su diseño de cara a que los edificios de consumo de energía casi nulo sean viables económicamente.

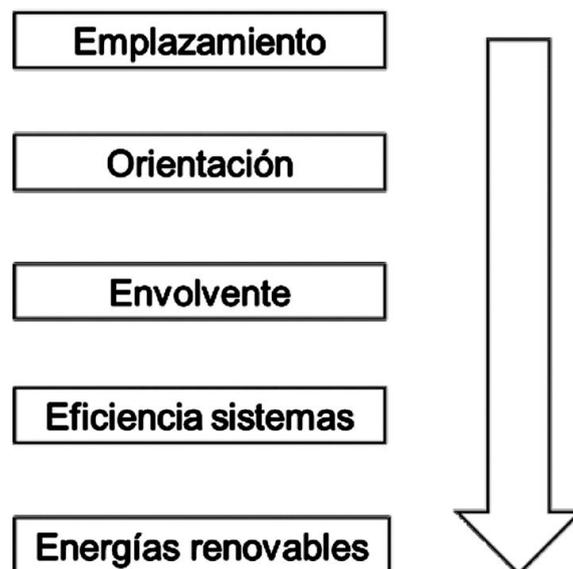


Figura 3.5. Orden en la energía.

En primer lugar, el emplazamiento y la orientación del edificio deben ser considerados de la máxima importancia para la consecución del objetivo. Si bien es cierto que no siempre existe la posibilidad de se-

leccionar diferentes localizaciones o de modificar su orientación, sí que es cierto que se debe conocer con gran detalle las condiciones climáticas locales y la diferente afección del sol a las fachadas del edificio para poder aprovechar las oportunidades de surgen del conocimiento de estas variables.



Foto 3.2. Parcela de la sede de IDOM en Madrid.
La orientación norte-sur facilita el control solar.

El diseño de cada fachada en función de su exposición a la radiación solar y a su entorno no debe suponer una limitación al diseño arquitectónico sino, más bien, una oportunidad.

En general, en un edificio de oficinas en España, debido a sus grandes cargas internas, interesa que los huecos en fachada sean los menos posibles para evitar la radiación solar. Sin embargo, si el diseño incluye las medidas arquitectónicas pasivas de control solar que sean necesarias, la inclusión de huecos en la fachada puede y debe facilitar la entrada de luz natural al interior (con la consiguiente oportunidad de ahorro energético en el sistema de iluminación) y mejorar el confort interior de los usuarios del edificio proporcionando vistas al exterior.

La fachada norte es, en España, la que menor radiación solar recibe, de modo que la apertura de huecos en ella proporciona luz natural sin el inconveniente de recibir radiación directa.



Foto 3.3. Fachada norte de la sede de IDOM en Madrid. Muro cortina con banderolas verticales que evitan deslumbramientos a última hora del día en verano.

La mejor medida para evitar la radiación solar es la que la elimina. Esto puede conseguirse si se evita que la radiación solar alcance la envolvente del edificio. Para ello, debe interponerse un elemento que sombree el edificio y que se encuentre suficientemente ventilado para que no se sobrecaliente y radie a su vez hacia el edificio. Este elemento puede diseñarse de modo que no limite las vistas al exterior de los usuarios del edificio. Cualquier otra medida que sitúe el elemento sombreador dentro del edificio o en su envolvente supone un calentamiento del mismo y, por lo tanto, no será tan eficiente o no podrá obtener los mismos beneficios.

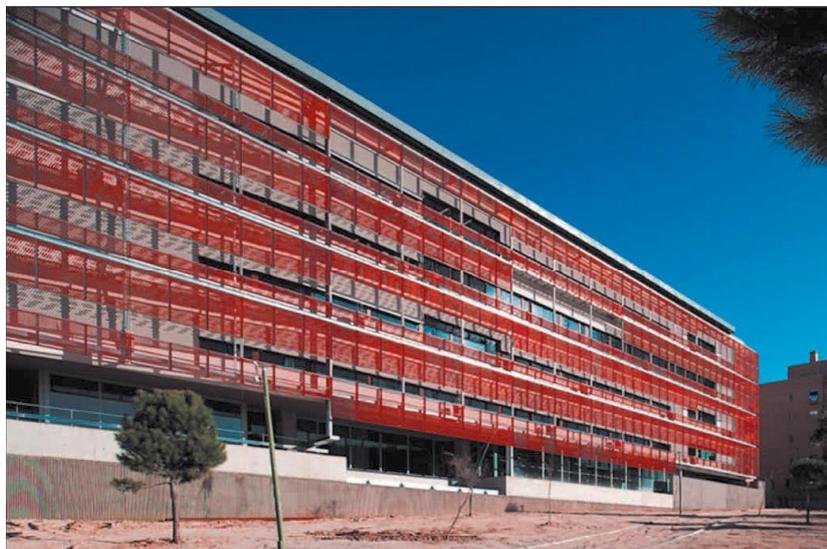


Foto 3.4. Fachada sur de la sede de IDOM en Madrid. Doble piel metálica perforada separada a más de un metro de la fachada para facilitar su ventilación natural.

En el caso de la sede de IDOM en Madrid, la protección de chapa existente en las fachadas sur, este y oeste proporciona un elemento de sombreado general a las fachadas del edificio. La disminución de temperatura en la superficie de la fachada del edificio es de aproximadamente 10 °C en un día soleado de verano.

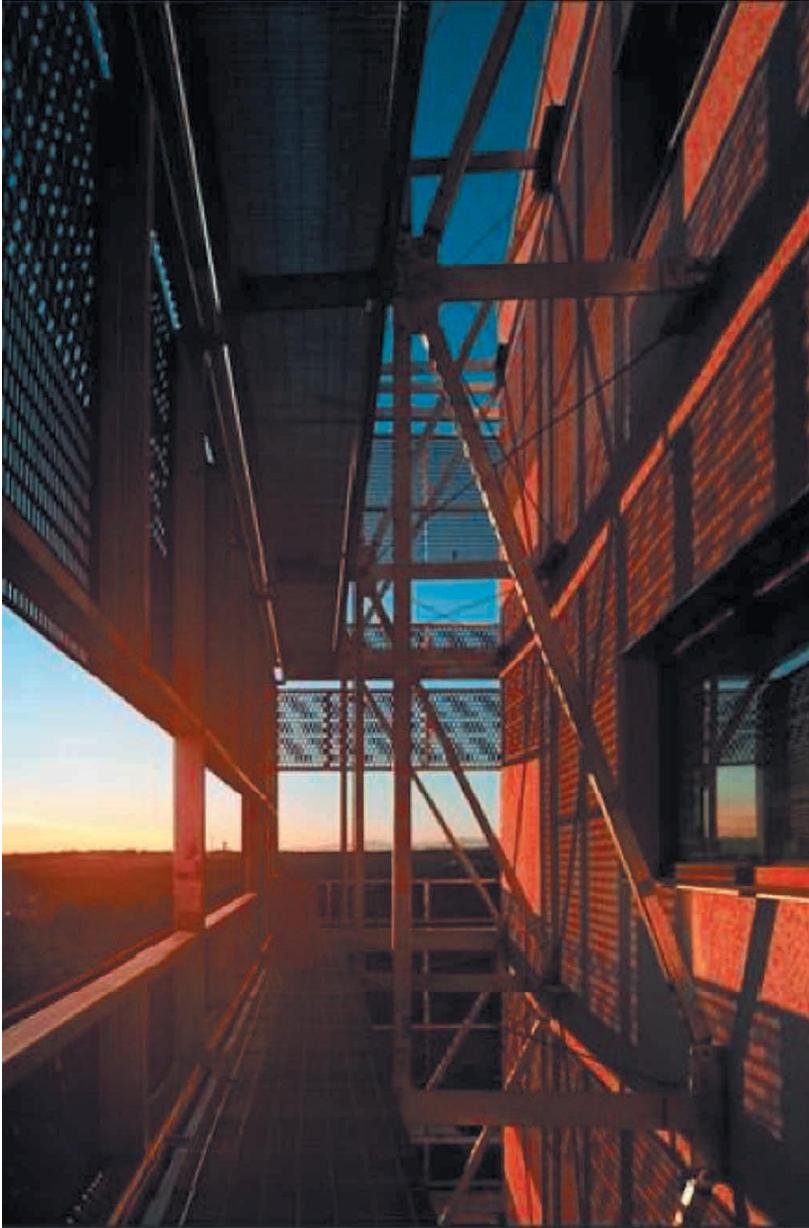


Foto 3.5. Fachada sur de la sede de IDOM en Madrid. Doble piel metálica perforada separada a más de un metro de la fachada para facilitar su ventilación natural.

La cubierta también forma parte de la envolvente y se trata de la parte de la misma que recibe mayor radiación solar en España. Es, por tanto, una gran oportunidad para medidas pasivas de control solar.



Foto 3.6. Cubierta y fachada este de la sede de IDOM en Madrid.

Además, la cubierta suele albergar gran cantidad de equipos de producción y distribución de climatización. Estos equipos suelen tener una eficiencia energética muy ligada a la temperatura que alcanzan sus elementos. De modo que una UTA o una enfriadora poseen unos rendimientos mucho mejores si se encuentran sombreados y con aire fresco disponible que si se encuentran sobrecalentados por el sol y rodeados de aire sobrecalentado.



Foto 3.7. Cubierta de la sede de IDOM en Madrid. La doble piel absorbe toda la radiación solar y se encuentra perfectamente ventilada naturalmente.

Además de la protección solar, la envolvente posee otras características energéticas fundamentales para el buen comportamiento del edificio: su compacidad, el aislamiento y la inercia térmica.

La compacidad es la relación entre la superficie de la envolvente térmica y el volumen habitable del edificio. Cuanto más compacto sea un edificio y menor superficie de intercambio tenga con el exterior, mejor aislado se encontrará. Lo interesante de considerar este tipo de oportunidades al inicio del proceso de diseño es que permiten aislar el edificio sin ningún coste de inversión en materiales. La correcta consideración del factor de forma del edificio, incluyendo los retranqueos de fachada o patios interiores supone un ahorro en simplicidad del proceso constructivo y en energía durante su uso.

A continuación se analizará en detalle el aislamiento necesario en un edificio de oficinas y su relación con el uso de inercia térmica.

3.4. AISLAMIENTO TÉRMICO

El aislamiento térmico como todos sabemos es fundamental en casi cualquier tipo de edificio y en casi cualquier tipo de clima. En climas como el de Madrid, muy extremo en verano y en invierno, es particularmente importante. En ocasiones leemos que en un edificio de altas cargas internas mucho aislamiento es contraproducente. Incluso en determinados programas de simulación la demanda en ocasiones disminuye al disminuir el aislamiento. Hay que tener cuidado con esto porque los programas de simulación en ocasiones analizan la demanda pero no tienen en cuenta que pueden existir diferencias de temperatura importante entre dos puntos de la misma zona, por ejemplo puntos interiores y puntos cercanos a la fachada. Y desde luego, cuando existen diferencias de temperatura importantes interior/exterior como es el caso de Madrid, el aislamiento debe ser muy generoso para ahorrar energía y mantener el confort en todo el edificio. Por supuesto se debe combinar con técnicas de *free-cooling* que eviten el efecto conocido como sobrecalentamiento, es decir que el edificio se sobrecaliente con respecto al exterior por encima de los niveles de confort.

Si se tienen en cuenta todos estos aspectos, que tienen también una repercusión económica, se obtiene que un edificio de oficinas, con un clima como el de Madrid, bien aislado y cuyas instalaciones permi-





Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

tan aprovecharse del free-cooling, supone un ahorro económico respecto del que se encuentra mal aislado por requerir de medidas adicionales para evitar el discomfort en los puestos cercanos a fachada.



Foto 3.8. Fachada de la sede de IDOM en Madrid compuesta básicamente por dos capas: termoarcilla vista al interior y 12 cm de aislamiento.

Entonces, es bueno desestimar la posibilidad de enfriar incontroladamente el edificio mediante un mal aislamiento de su fachada. Contrariamente recomendamos utilizar grosores de aislamiento, vidrios y carpinterías que aseguren el máximo confort de los usuarios del mismo conjuntamente a un sistema de climatización correctamente dimensionado que maximice el aprovechamiento del *free-cooling*.

Resulta interesante comprobar cómo los requisitos mínimos impuestos a una envolvente de un edificio de oficinas en la actualidad por la normativa vigente (CTE DB-HE1) han quedado obsoletos. Recomendamos superar ampliamente los aislamientos exigidos por la normativa actual.

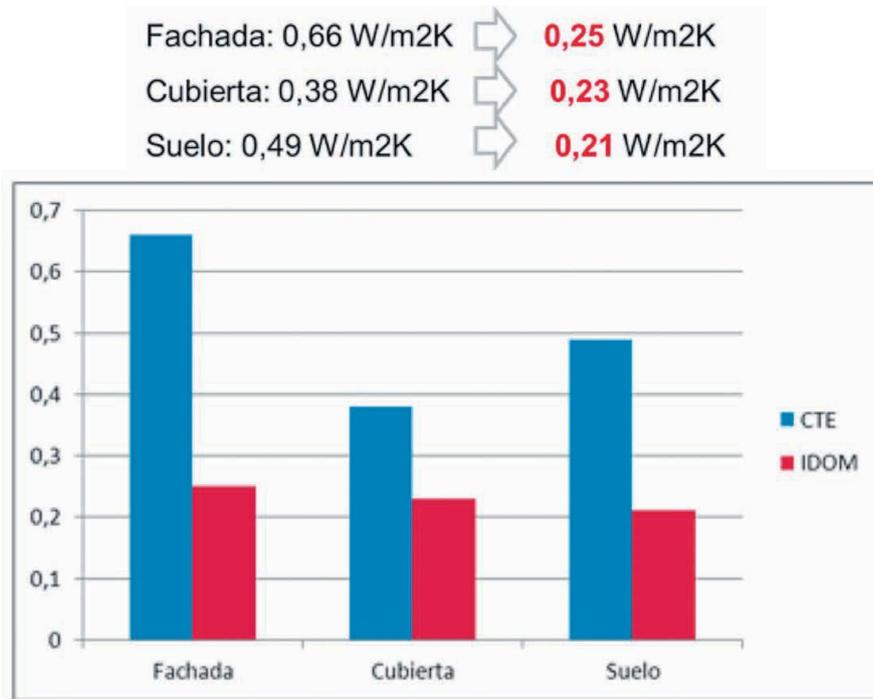


Figura 3.6. Comparación valores de conductividad térmica (U) de la fachada de la sede de IDOM en Madrid respecto de la exigida por el CTE para la zona climática de Madrid (D3).

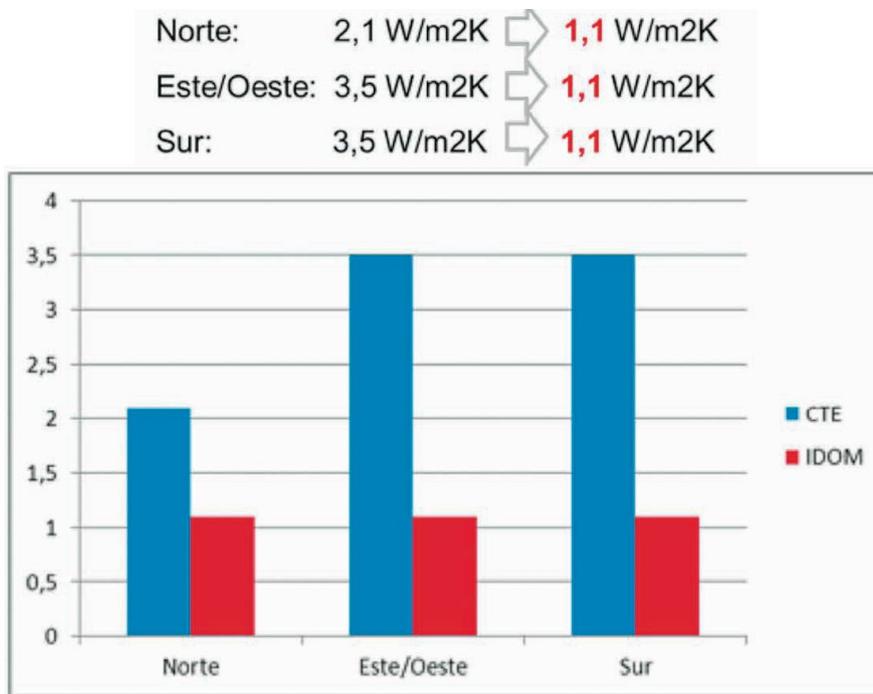


Figura 3.7. Comparación valores de conductividad térmica (U) de los vidrios de la sede de IDOM en Madrid respecto de la exigida por el CTE para la zona climática de Madrid (D3).



Resulta igualmente clave para el correcto funcionamiento del aislamiento que se sitúe adecuadamente respecto de la envolvente. En concreto, para el caso de oficinas en el que ya hemos comentado en la introducción a este capítulo lo interesante que resulta el aprovechamiento de la inercia térmica del edificio, conviene situar el aislamiento en la parte exterior de la envolvente de cara a permitir que la inercia térmica de los elementos constructivos que compongan la misma puedan interactuar con el ambiente interior. Por otra parte, la colocación del aislamiento por el exterior del edificio es el mejor modo de atajar la eliminación de puentes térmicos en fachadas.



Foto 3.9. Colocación del aislamiento térmico por el exterior de la fachada de la sede de IDOM en Madrid.

Por último, respecto de los vidrios conviene recordar el concepto de selectividad pues resulta muy interesante en edificios de oficinas.

Generalmente para la selección de vidrios en un edificio de oficinas se tiene muy en cuenta su factor solar ya que representa cuánta energía se introduce en el edificio respecto de la energía solar que incide en el vidrio. De modo que se deben seleccionar vidrios con factores solares lo más bajos posibles. Pero sucede que un factor solar bajo suele conllevar una transmisividad lumínica también baja. Esto supone una pérdida de oportunidad en ahorro energético mediante la utilización de sistemas de iluminación que aprovechen la iluminación natural para disminuir la potencia consumida por el sistema manteniendo una iluminación suficiente constante.



Se podría realizar un análisis teniendo en cuenta estas dos variables para, de nuevo, buscar el vidrio óptimo económico cuyas características supongan el máximo ahorro en los dos sistemas, el de climatización y el de iluminación. Pero, consideramos que las conclusiones de este análisis puramente económico de nuevo serían erróneas sin incluir como un aspecto fundamental del análisis el confort de los usuarios.

Consideramos que teniendo en cuenta los beneficios en el confort que supone una mayor iluminación natural, conviene seleccionar vidrios en oficinas que permitan el paso abundante de iluminación natural minimizando, en lo posible, el factor solar de los mismos y aprovechando otras medidas pasivas de control solar para evitar la radiación solar sobre los mismos.

Factor UV	
Transmisión:	<1 %
Factores luminosos	
Transmisión:	65 %
Reflexión exterior:	10 %
Reflexión interior:	12 %
Factores energéticos EN 410	
Transmisión:	32 %
Reflexión exterior:	25 %
Absorción A1	37 %
Absorción A2	6 %
Factor solar g	0.39
Shading coefficient SC :	0.45
Transmisión térmica	
Ug :	1.1 W/(m².K)

Selectividad

Figura 3.8. Características técnicas del vidrio utilizado en la sede de IDOM en Madrid.

Los vidrios selectivos son aquellos que consiguen desligar en cierta medida estas dos variables manteniendo un factor solar bastante bajo para valores altos de transmisividad lumínica. Son, por lo tanto, muy recomendables en proyectos de oficinas.

3.5. EFICIENCIA ENERGÉTICA

En el proceso de diseño de un edificio de oficinas de consumo de energía casi nulo, una vez se han aprovechado las mejores oportuni-



Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

dades pasivas de ahorro en el emplazamiento, orientación y envolvente térmica, llega el momento de afrontar las posibilidades de ahorro en el diseño de los sistemas.

Sin embargo, además de la selección de equipos de altos rendimientos, la eficiencia energética del edificio va a depender de una serie de medidas que englobaremos dentro del título: medidas de aprovechamiento ambiental.

Estas medidas van a ser fundamentales en la consecución del objetivo de consumo de energía casi nulo. Las medidas pasivas pueden minimizar la entrada de cargas energéticas del exterior (radiación solar, altas temperaturas exteriores, etc.) pero un edificio de oficinas posee un alto nivel de cargas interiores que no se resuelven con medidas pasivas. Por otro lado, las medidas activas de selección de equipos con grandes rendimientos resultan insuficientes para reducir lo suficiente el consumo como para que la inversión necesaria en energías renovables, para conseguir niveles de consumo finales casi nulos, sean económicamente sostenibles. Son las medidas de aprovechamiento ambiental las que deben permitir retirar del edificio las cargas internas con un bajo coste energético.

Consideramos que un edificio puede obtener unos consumos casi nulos sin incrementarse significativamente su coste. La nueva sede de IDOM en Madrid ha sido construida con un presupuesto aproximado de 1.000 €/m². Para conseguir esto en edificios de oficinas, las medidas de aprovechamiento ambiental son la clave.

Estas medidas no pueden considerarse pasivas ni activas puras. Se tratan de sistemas que aprovechan las condiciones ambientales del entorno (del aire, del terreno, etc.) para obtener energía de un modo semi-gratuito con unos rendimientos muy superiores a los de un equipo de producción de calor o de frío. Como ejemplo más conocido, podemos citar los sistemas de climatización por free-cooling que aprovechan directamente el frío exterior sin necesidad de ningún circuito de refrigerante.

En la sede de IDOM en Madrid existen dos sistemas claves de aprovechamiento ambiental en la eficiencia global del edificio:

- TABS.
- Ventilación optimizada por conductos textiles.

3.6. TABS

El sistema TABS consiste en la introducción de circuitos de agua por el interior de la estructura del edificio con el fin de poder controlar su temperatura. En el caso de la nueva sede de IDOM en Madrid, las tuberías se introducen en el interior de los forjados de hormigón de la estructura.

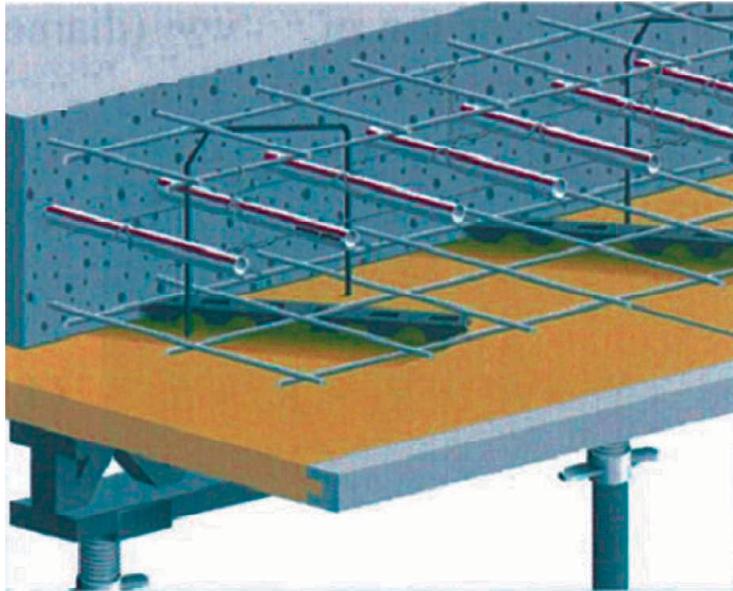
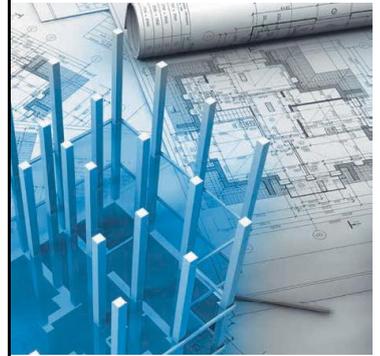


Figura 3.9. Sistema TABS.

Estas tuberías deben ejecutarse durante la fase de estructuras de una obra. Se sujetan mediante bridas a las armaduras metálicas previamente al vertido de hormigón. De este modo, los circuitos quedan completamente embebidos en su interior.



Foto 3.10. Forjado en proceso de construcción antes de la ejecución de la armadura superior del mismo y previa a su hormigonado. Las vainas negras son para el postesado de la estructura. Las tuberías de TABS son de color blanco.



Tal y como hemos comentado en la introducción a este capítulo, el aprovechamiento de la masa térmica de la estructura de un edificio de oficinas en España supone grandes ventajas:

- Minimización del tamaño de equipos de producción
- Ahorro energético
- Condiciones interiores más estables y uniformes
- Desacoplamiento entre producción y demanda.

El sistema TABS permite controlar mecánicamente la temperatura de la masa térmica del edificio y maximizar así los beneficios de la utilización de la inercia térmica.



Foto 3.11. Hormigonado de un forjado con TABS en la sede de IDOM en Madrid.

En la sede de IDOM en Madrid, el funcionamiento básico es el siguiente:

Durante los meses en los que el edificio necesita refrigeración, los forjados actúan pasivamente absorbiendo las cargas térmicas del interior de los espacios. Esto es, refrigeran estos espacios sin necesidad de la actuación de ningún sistema mecánico. Una subida de temperatura de 2 °C de toda la masa térmica es equivalente a toda la carga de refrigeración del edificio en un día de verano.

Durante las noches de los periodos en los que el edificio necesita refrigeración, se hace pasar agua por los circuitos de TABS para refrigerar los forjados, de modo que vuelvan a estar frescos y dispuestos a ca-

lentarse de nuevo al día siguiente. Para ello, gracias a las condiciones climáticas continentalizadas de Madrid, se aprovecha la baja temperatura nocturna disponible, incluso en los peores meses de verano, para disipar el calor absorbido por los circuitos. Para ello se utiliza el enfriamiento adiabático, directamente con una torre de refrigeración, sin necesidad de arrancar una enfriadora.

De las mediciones continuadas que se realizan en el edificio se obtiene que el consumo del ventilador de la torre y del grupo de bombeo que hace circular el agua a través de los forjados es aproximadamente de 60 kWh cada noche. Sin embargo, el valor medio de la energía térmica retirada en una sola noche es de aproximadamente 1.800 kWh. Se consigue así, un sistema completo de refrigeración con un SEER real de 30.

Actualmente en la sede de IDOM en Madrid, más de la 80% de la energía térmica retirada del edificio se realiza mediante el sistema de TABS.

La combinación del sistema de TABS con una instalación aerotérmica (torres de refrigeración) es una gran oportunidad de ahorro en oficinas en climas como el de Madrid en el que por la noche no se alcanzan temperaturas de bulbo húmedo muy altas. Gracias al sistema de TABS se puede tomar ventaja de este tipo de condiciones climáticas. Por eso, lo consideramos un sistema de aprovechamiento ambiental que es donde creemos que existe el gran potencial para la eficiencia energética.

Como ya se ha dicho con anterioridad, en la sede de IDOM en Madrid existe otro sistema de aprovechamiento ambiental: el sistema de ventilación realizada con conductos textiles y que también maximiza el aprovechamiento del free-cooling. Este otro sistema se encarga de retirar el 20% de la energía térmica restante del edificio, además de proporcionar la ventilación necesaria para mantener las condiciones de salubridad idóneas en el interior del edificio.

En cualquier caso, existe una ventaja inherente al sistema inercial TABS que no depende de la climatología sino de su capacidad de control de la masa térmica del edificio.

Si comparamos la potencia necesaria de los equipos de producción de frío de un edificio de oficinas sin TABS con otro en el que se utilice





TABS, los equipos de producción del primero deben disponer aproximadamente de entre 2 y 3 veces más potencia. Esto se debe a que un sistema de producción de frío de un edificio sin TABS ni inercia térmica alguna debe estar dimensionado para poder soportar la carga pico que las condiciones de diseño establezcan. Sin embargo, un sistema de producción de frío de un edificio con TABS debe ser capaz de refrigerar la misma cantidad de energía pero tiene para ello un número mayor de horas de trabajo disponibles.

La siguiente imagen trata de ilustrar esta ventaja del aprovechamiento de un sistema TABS. En este caso se suponen unas condiciones de control similares a las del edificio de la sede de IDOM en Madrid en las que el sistema de producción de frío dispone de 12 horas (la noche) para disipar la energía absorbida por los forjados durante una ocupación de 8:00 a 20:00 h.

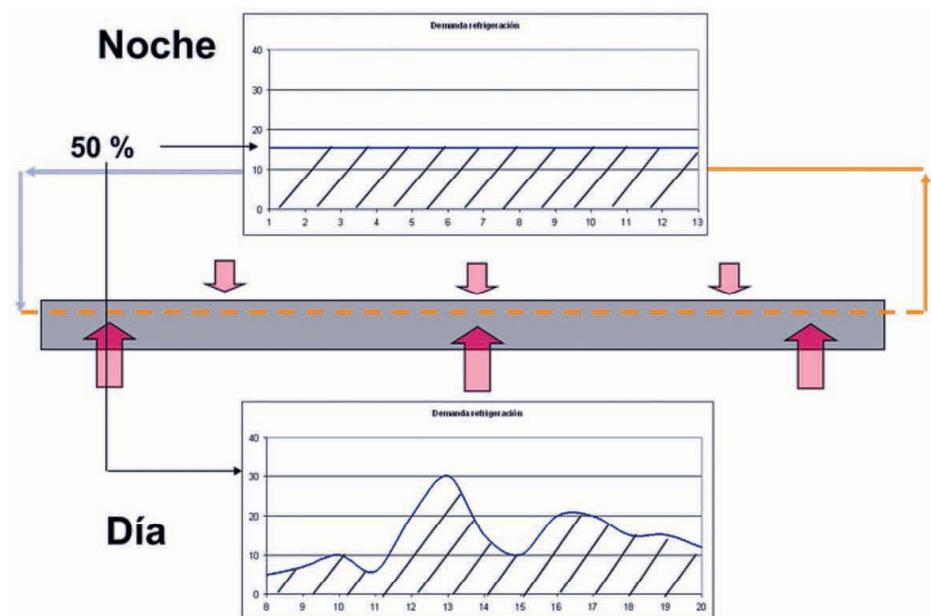


Figura 4.10. Reducción en el dimensionamiento del sistema de producción de frío debido al aprovechamiento de los TABS.

La respuesta de un sistema TABS ante la variabilidad de la demanda térmica (como la reflejada en la imagen anterior por una curva que puede tener una forma cualquiera) siendo pasiva (sin la necesidad de actuación de ningún sistema mecánico) es adecuada ya que absorbe una mayor cantidad de energía cuanto mayor sea la temperatura que alcanza el espacio a refrigerar.

Para unos TABS dimensionados como los de la sede de IDOM en Madrid (los detalles de su dimensionado se verán más adelante) se obtiene aproximadamente un ratio de 10 W/m² por cada grado de dife-

rencia entre el ambiente y la temperatura superficial del forjado. De modo que cuanto más tienda a separarse estas temperaturas (debido, por ejemplo, a un calentamiento repentino de una sala de reuniones con una alta ocupación) más potencia absorberán los forjados

Si un espacio bajo un mismo forjado va incrementando su temperatura y otro va disminuyéndola, el forjado de manera absolutamente pasiva, va refrigerando el primero y calentado el segundo sin necesidad de la actuación de ningún sistema de control. Incluso podemos tener en cuenta que, debido a que los refuerzos estructurales metálicos de los forjados, en su mayor medida, son horizontales, la conductividad térmica de los forjados en dirección horizontal es mayor. Por lo tanto, puede llegar a hablarse de que un forjado con masa térmica en contacto con el aire es capaz de intercambiar, a demanda, energía entre espacios sin necesidad de mover aire, agua ni ningún fluido caloportador sino tan sólo mediante su funcionamiento pasivo.

Para poder aprovecharse de estas características propias del uso de la masa térmica de la estructura resulta muy conveniente eliminar, tal y como ya se ha comentado en la introducción a este capítulo, resistencias al flujo de energía térmica entre el elemento masivo (en este caso los forjados) y el sistema a controlar (en este caso las condiciones interiores de confort). Un elemento que claramente se comporta como una resistencia a este flujo energético es el falso techo o el falso suelo. La sede de IDOM en Madrid no tiene ni falso techo continuo ni falso suelo como puede observarse en las siguientes fotografías:

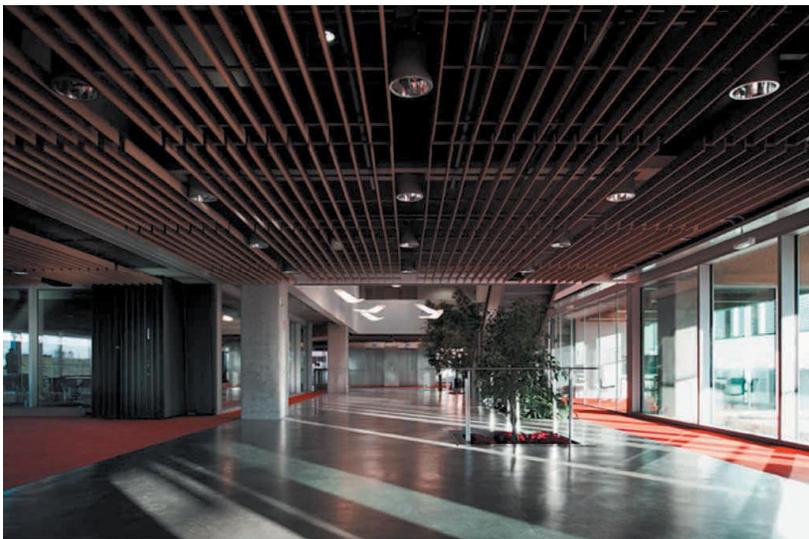


Foto 3.12. Diseño interior de los espacios de la sede de IDOM en Madrid evitando falso suelo y falso techo para aprovechar la masa térmica de los forjados.

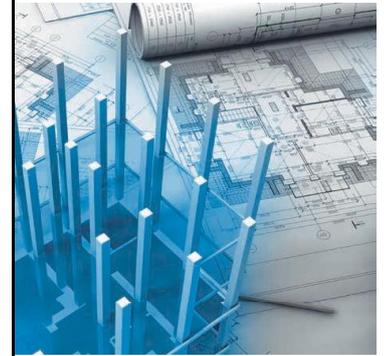




Foto 3.13. Diseño interior de los espacios de la sede de IDOM en Madrid. Tampoco se reviste el acabado de la fachada para poder aprovechar toda su inercia térmica.

En cuanto al dimensionamiento del sistema de TABS de la sede de IDOM en Madrid, a continuación se incluyen esquemas que definen los dos sistemas constructivos utilizados:

TABS: Sistema constructivo

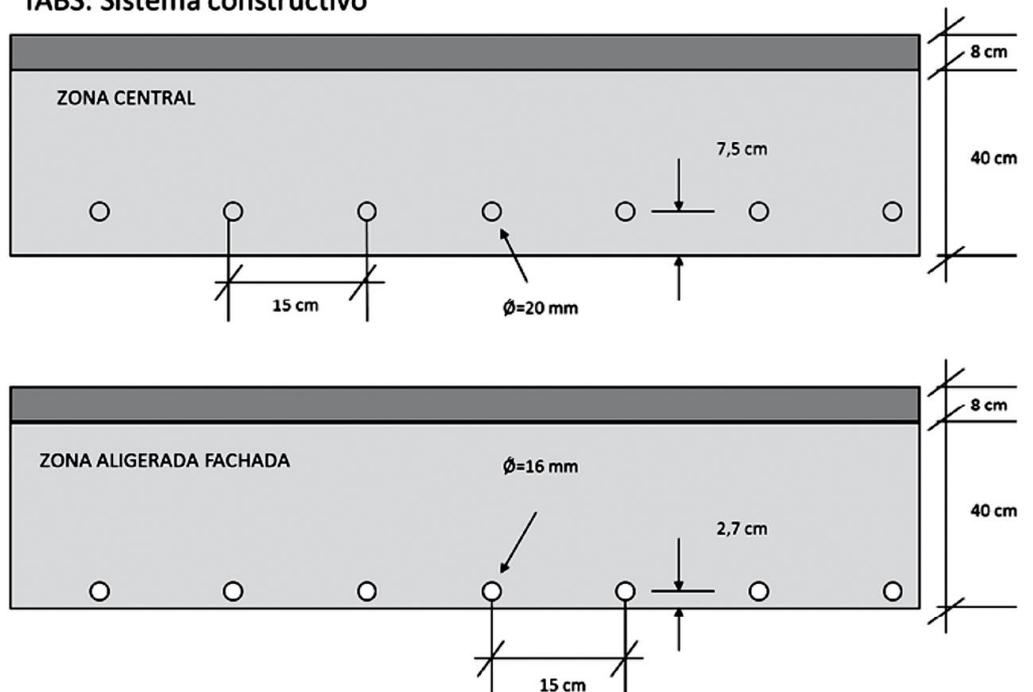


Figura 3.11. Sistemas constructivos de TABS en los forjados de la sede de IDOM en Madrid.

El que abarca la amplia mayoría de la superficie del edificio es titulado como zona central. La otra solución constructiva (zona aligerada fachada) tuvo que desarrollarse para evitar el encuentro de las tuberías de agua de los TABS con unas piezas de poliestireno expandido que se sitúan en el interior de los forjados para aligerarlos de peso en las zonas en las que encuentra en voladizo. Por ello se tuvo que trasladar las tuberías a un plano más cercano al techo.

A continuación se incluye un plano completo de un forjado de una planta con TABS de la sede de IDOM en Madrid:

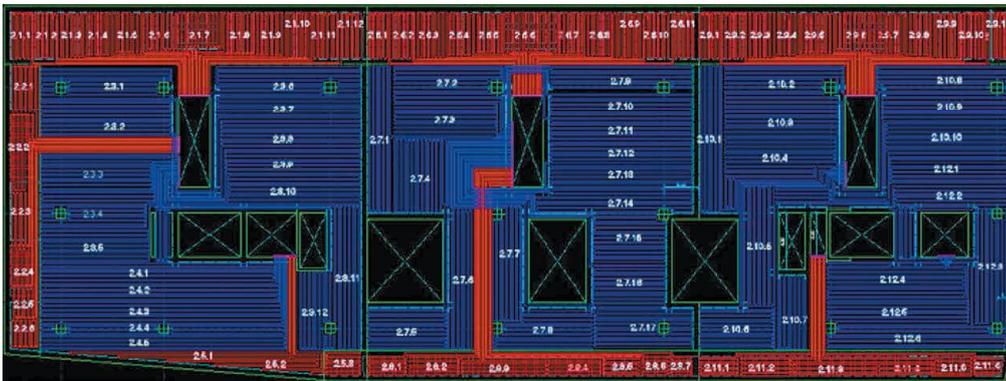


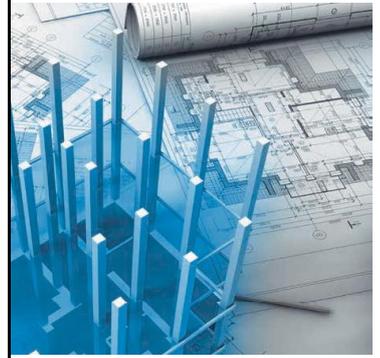
Figura 3.12. Plano constructivo de los circuitos de TABS de una planta completa de la sede de IDOM en Madrid.

Los colores indican las dos soluciones constructivas. Los circuitos azules son los de zona central y los rojos los de zona aligerada de fachada.

Se observa igualmente en el plano, que no se han diseñado los circuitos considerando la compartimentación de los espacios de la oficina. Esto sería incoherente con la filosofía de trabajo de los TABS que persigue un comportamiento térmico masivo, uniforme, constante y generalizado en todo el edificio. Además de que le restaría la enorme flexibilidad funcional absolutamente necesaria en un edificio de oficinas. En un edificio con TABS y con una envolvente térmica excelente, apenas se notan diferencias de temperaturas de un espacio a otro, de manera que al entrar, por ejemplo, en una sala de reuniones no es fácil reconocer si ha estado ocupada recientemente o vacía desde hace días.

En la sede de IDOM en Madrid los TABS están dimensionados para absorber más de 40 W/m^2 en condiciones de diseño de verano, haciendo pasar agua a $19 \text{ }^\circ\text{C}$ a través de los forjados.

En la siguiente imagen se puede observar cómo va evolucionando la temperatura de los forjados durante su funcionamiento habitual durante el verano.



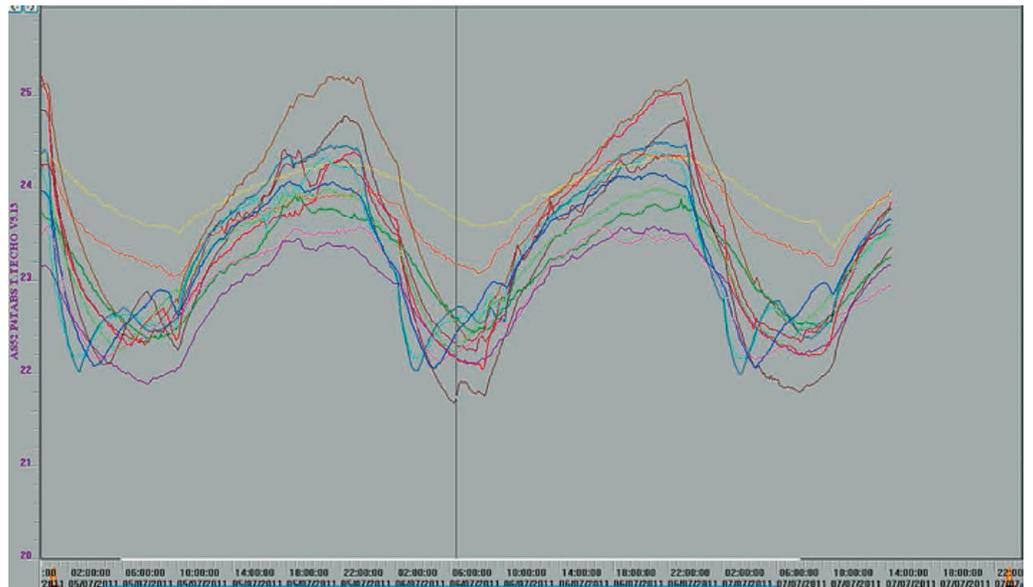


Figura 3.13. Salida gráfica del BMS de la sede de IDOM en Madrid. Evolución de las temperaturas de las sondas de contacto del techo de planta 4ª a lo largo de algo menos de tres días laborables de Julio.

En esta imagen el incremento de temperatura de las sondas de techo de los forjados se debe a que va absorbiendo el calor que se genera en la oficina durante el día. Una vez ha llegado la noche y las temperaturas exteriores son favorables, se hace pasar el agua de los TABS por una torre de refrigeración hasta que las sondas de techo lleguen a la temperatura de consigna (22,5 °C en la imagen). Una vez se ha alcanzado esta temperatura, los forjados están dispuestos a empezar un nuevo día.

Se observa que, aún en Julio, la temperatura del hormigón sólo varía aproximadamente 2 °C.

A medida que nos alejamos de las condiciones más duras de verano, se va haciendo necesario refrigerar en menor medida los forjados durante la noche. De hecho, existen aproximadamente 3 meses al año (mes y medio en primavera y otro tanto en otoño) en los que no es necesario introducir ni frío ni calor en los TABS. En estas condiciones está resultando suficiente con recircular el agua que pasa a través de todos los forjados para que el agua que se encuentra en la última planta (que se enfría un poco más que el del resto) refrigerare al resto de los forjados sin necesidad de arrancar ni siquiera la torre de refrigeración.

En invierno es necesario introducir un poco de calor en los forjados mediante el sistema de TABS, pero durante los dos inviernos completos que ya lleva en funcionamiento el edificio, ha sido suficiente con introducir agua a 24 °C para satisfacer las necesidades del edificio. Además, es

de esperar que según aumente el número de personas de IDOM en Madrid (actualmente 600 pero el edificio está dimensionado para poder contener a 900 personas) ni siquiera sea necesario introducir este calor.

En general, recomendamos que el control de los TABS sea sencillo. En la sede de IDOM se ha ejecutado una instalación a dos tubos con una válvula de control por cada colector de circuitos. Ésta válvula se hace actuar en función de la evolución de una sonda de temperatura de techo. Esta válvula podría ser todo o nada. La temperatura de consigna actual en estas sondas es de 23 °C en verano y de 23,5 °C en invierno.



Figura 3.14. Termografía de un techo de la sede de IDOM en Madrid con los TABS en funcionamiento. Se observa que la temperatura mínima que alcanza la superficie es de 23,5 °C.

En cuanto a los costes de esta tecnología, en la sede de IDOM en Madrid se ha ejecutado los TABS con un presupuesto final de 30 €/m². De modo que no se puede hablar de periodo de amortización de los TABS ya que sólo el ahorro que ha supuesto en equipos de producción ha sido mayor que el coste completo de su instalación.

Por otra parte, el confort percibido por el usuario de un edificio con TABS es mucho mayor por varias razones:

- Control de la temperatura radiante. Ambiente percibido más natural y menos artificial.
- Condiciones térmicas uniformes en todo el edificio.
- Refrigeración del edificio sin secar el ambiente.



Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

- Refrigeración del edificio sin producir corrientes de aire.
- Ausencia total de ruido por el sistema de climatización.

Por último, destacar que los TABS también pueden implementarse en edificios existentes que se planteen una rehabilitación de gran alcance o que requieran de un refuerzo estructural. Es el caso de un proyecto de oficinas en Francia de rehabilitación en el que IDOM ha proyectado una activación de la estructura mediante la inclusión de unos circuitos de agua en el recrado de los forjados. A continuación se incluye una imagen de esta solución técnica:

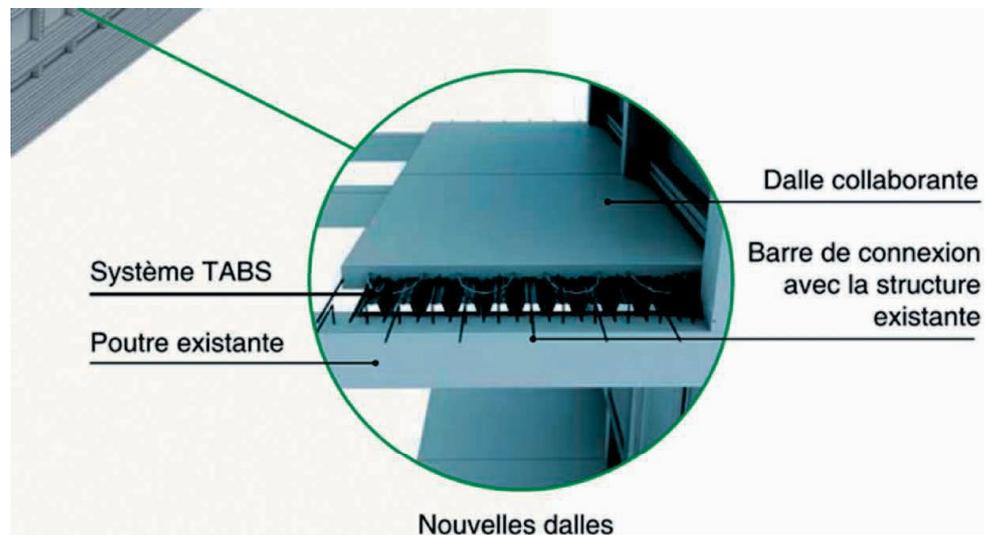


Figura 3.15. Activación mediante un sistema TABS de una estructura existente en un proyecto de Francia.

3.7. EXERGÍA

Antes de presentar los resultados finales de una instalación de TABS en oficinas, queremos hacer hincapié en la importancia de utilizar temperaturas que sean cercanas al ambiente en los sistemas de climatización introduciendo el concepto de exergía.

La exergía, de manera simplificada, es la parte de la energía de un sistema que es capaz de realizar trabajo con su entorno. De manera que es como un indicador de calidad de la energía.

Como ejemplo, en un ambiente a 25 °C, un recipiente de agua a 75 °C tiene la misma energía térmica que otro 50 veces mayor pero con el agua a 26 °C. Ambos recipientes contienen la misma energía térmica, sin embargo, tiene mucha mayor exergía el caliente y pe-



queño que el templado y grande. Es decir, que resulta más útil el primero que el segundo. Además, con el primero resulta inmediato obtener el segundo. Sin embargo desde el segundo no puede obtenerse el primero. Podríamos decir que aunque tienen la misma energía, el pequeño recipiente a 75 °C la tiene de mayor calidad.

Pues bien, sistemas de climatización edificatoria como los TABS son conocidos como de baja exergía (en la literatura inglesa: Low-Ex systems) porque permiten el aprovechamiento de energías de bajo contenido exergético pues requieren de temperaturas de agua para su funcionamiento muy cercanas a las del ambiente.

	<u>Antes de 1990</u>	<u>Tendencias</u>	<u>TABS</u>
 calor	80°C	55°C	24°C
 frío	7°C	10°C	19°C

Figura 3.16. Evolución de las temperaturas de impulsión de agua en sistemas de climatización hidrónicos.

Esto supone los siguientes beneficios:

- Mejores rendimientos en producción. Por ejemplo, una bomba de calor tiene un rendimiento mucho mayor si se le solicitan temperaturas templadas que extremas.
- Mayores rangos de utilización de energías renovables. En general, las energías renovables son de bajo contenido exergético. Por ejemplo, la geotermia puede utilizarse de modo directo sin necesidad de ninguna bomba de calor para temperaturas como las que utiliza el sistema de TABS de la sede de IDOM en Madrid.
- Menores pérdidas caloríficas durante el transporte.

Por otra parte, también cabe destacar, que al utilizar temperaturas tan templadas en una torre de refrigeración se reduce en gran medida el riesgo de legionella porque la temperatura alcanzada en la misma es mucho menor.

Estas ventajas hacen que un sistema TABS sea muy fácil de combinar con energías renovables. En el caso de la sede de IDOM en Madrid se utiliza la aerotermia, sin embargo la opción geotérmica es también



muy interesante. En Europa existen muchos ejemplos de esta última combinación y ha terminado por adquirir un nombre propio: GEOTABS.

Freecooling hidráulico nocturno

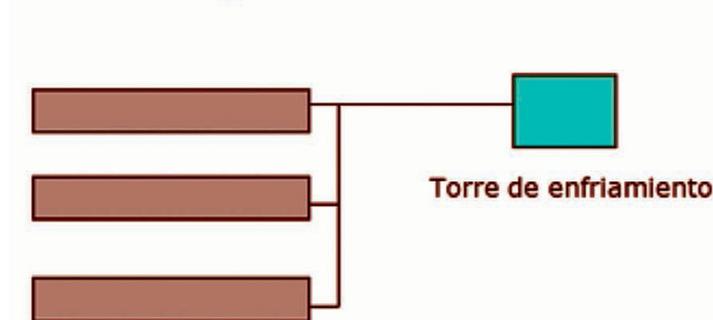


Figura 3.17. Esquema TABS + Aerotermia.

Geotermia

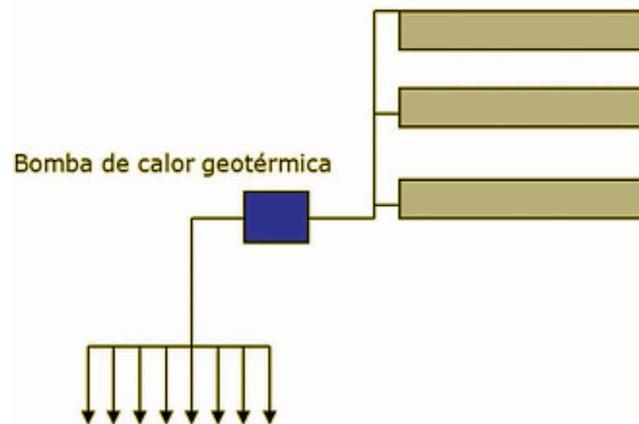


Figura 3.18. Esquema TABS + Geotermia.

Una de las ventajas de la geotermia es que dispone de un mayor número de horas disponibles al día ya que la temperatura del terreno no tiene la variabilidad de la del ambiente. De modo que se puede reducir aún más el tamaño de los equipos de producción. Si en una instalación con aprovechamiento del enfriamiento nocturno dijimos que los equipos de producción podrían reducirse en un 50%, en un sistema que disponga de 24 h de trabajo, la reducción en el tamaño de los equipos de producción puede resultar mayor al 70%.

En climas españoles donde la severidad climática en invierno aumenta considerablemente hasta conseguir que la calefacción del edificio de oficinas sea un problema de mayor envergadura, resulta interesante plantearse igualmente las siguientes combinaciones que obtienen, a su vez, grandes ventajas de su aplicación en un edificio con TABS:

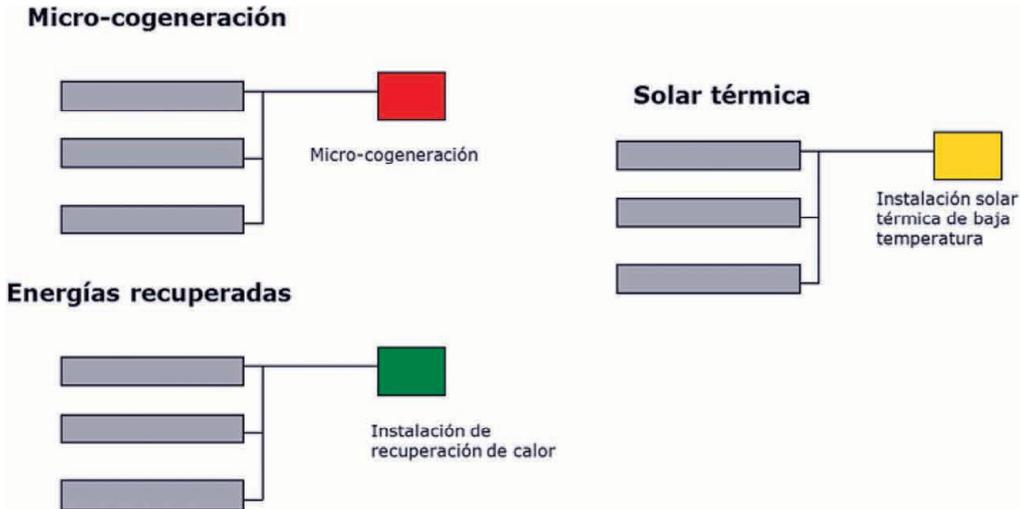


Figura 3.19. Esquemas de sistemas de TABS de calentamiento combinados con otras tecnologías con los que se obtiene una interacción muy interesante.

3.8. RESULTADOS

Por último, terminando este capítulo de aplicación de sistemas TABS en edificios de oficinas, se incluyen los resultados medidos en la sede de IDOM en Madrid durante los dos años que lleva en funcionamiento:

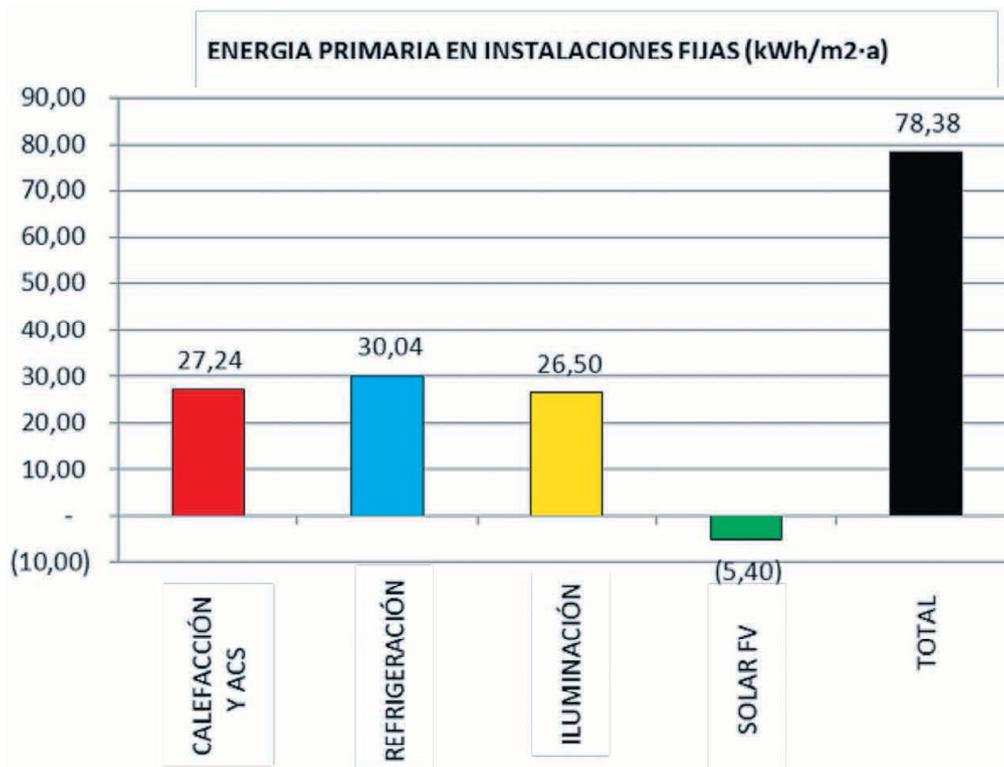


Figura 3.20. Consumos de energía primaria en instalaciones fijas de la sede de IDOM en Madrid (kWh/m²·año).



Consideramos que obtener un valor menor de 80 kWh/m² al año de consumo de energía primaria en instalaciones fijas de un edificio de oficinas supone encontrarse alineado con la Directiva Europea 2010/31 como edificio de consumo de energía casi nulo.

Si comparamos el consumo en energía final con el de un edificio de oficinas que se hubiera construido en Madrid a la vez que el de IDOM y en estricto cumplimiento del CTE, los resultados son los siguientes:

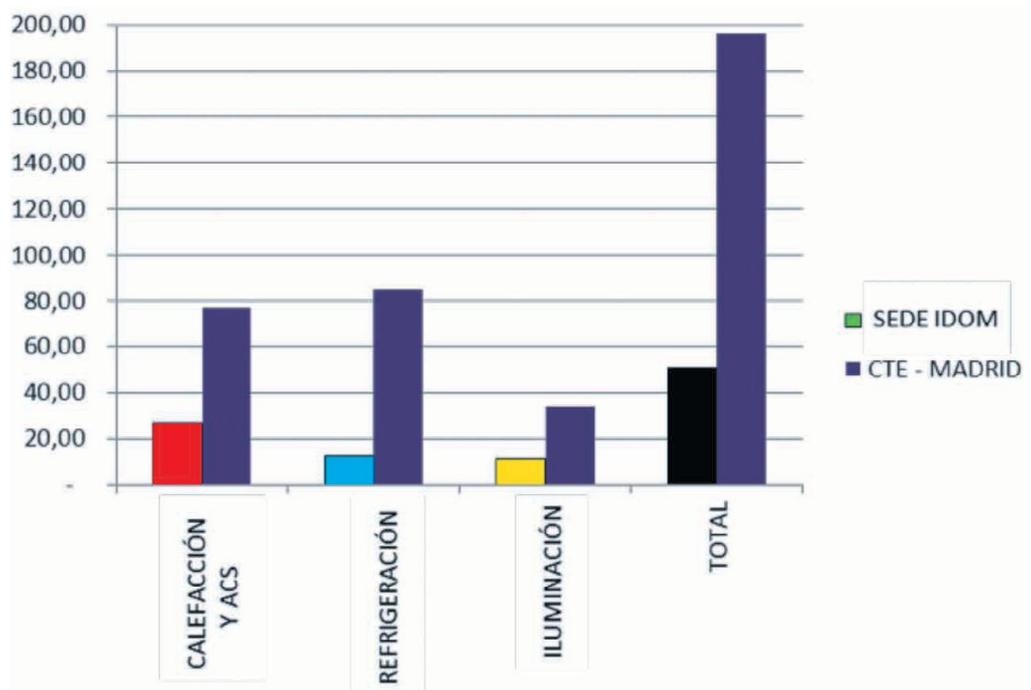


Figura 3.21. Comparativa consumos de energía final de instalaciones fijas de la sede de IDOM en Madrid respecto a un edificio nuevo de oficinas en Madrid medio (kWh/m²·año). Incluye ventilación y bombeo.

La reducción del consumo de energía final es de un 73,8%. Es decir, aproximadamente 3 de cada 4 kWh de energía que se consumirían en un edificio de oficinas nuevo en Madrid se ahorran en la sede de IDOM. El consumo medido de energía final para refrigeración del edificio es de 12.58 kWh/m² al año. Un resultado extraordinario que resulta cerca de 8 veces menor al de otros sistemas de refrigeración de oficinas.

El edificio ha obtenido de manera holgada la máxima calificación de eficiencia energética «A» mediante su simulación en CALENER GT de acuerdo al Real Decreto 47/2007.

Si continuamos con la comparación, el ahorro en emisiones es de unas 2.000 Tn de CO₂ cada año.

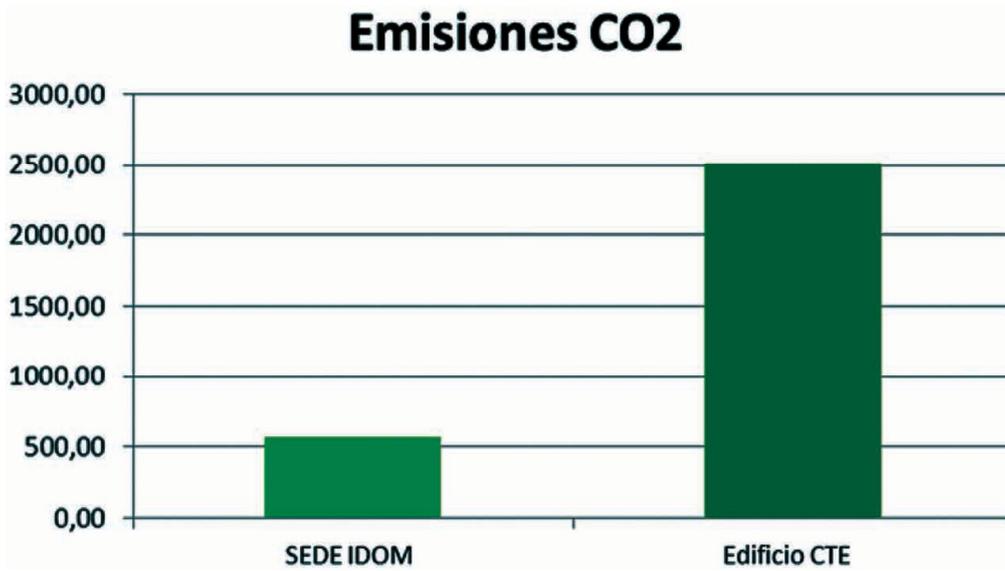


Figura 3.22. Comparativa de emisiones de CO₂ debidas a instalaciones fijas de la sede de IDOM en Madrid respecto a un edificio nuevo de oficinas en Madrid medio en toneladas de CO₂ al año.

Este ahorro es equivalente a un recorrido de 12.000.000 km en coche al año, es decir lo que emiten 480 vehículos recorriendo un promedio de 25.000 Km anuales.

4

AEROTERMIA, APLICACIÓN DE SISTEMAS INERCIALES DE PROTECCIÓN PASIVA EN LA EDIFICACIÓN TERCIARIA, CON INCLUSIÓN DE OTRAS MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Juan manuel Ortega
Ortiz Construcciones y Proyectos

4.1. EDIFICACIÓN

4.1.1. Introducción

Este conjunto de edificios nació en un momento en que se iniciaba la carrera en las políticas de ahorro energético y de lucha contra el cambio climático, el respeto y optimización en la extracción y transformación de los recursos naturales, así como las estrategias de reutilización y reciclado de productos.

A nuestro entender, la arquitectura se enfrenta frente a uno de sus mayores retos, dado que para satisfacer todas las exigencias técnicas y responder a su vez a las necesidades de la sociedad, se requiere un esfuerzo considerable para tratar de conseguir la excelencia en el desarrollo del proyecto y un ejercicio de responsabilidad en su concepción (hay que diseñar bien) y posteriormente en su ejecución (hay que construir bien).

En este sentido, el conjunto promovido por el grupo Ortiz, pretendió ser uno de los exponentes de esa arquitectura, dado que su concepción se gestó intentando emplear el sentido común y teniendo presente una especial sensibilidad hacia la naturaleza y la sociedad lo que, actualmente se identifica como edificación sostenible.

Ello ha supuesto un reto tecnológico en si mismo, aunque de forma paralela se ha producido otro objetivo, al aunar los esfuerzos de los equipos técnicos que han compartido conocimientos con la finalidad de alcanzar un objetivo de calificación energética «A».

La ejecución del presente proyecto, constituye un objetivo tecnológico para la empresa, teniendo en cuenta, que gracias a un buen diseño inicial «el mayor ahorro y en los edificios, está en aquella energía que no se consume», y «la mayor eficacia está en el empleo de técnicas pasivas y energías renovables».





Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

Algunos de los avances que permitirá alcanzar el proyecto, son los siguientes:

- Obtención de edificios eficientes desde el punto de vista energético gracias a la utilización de las siguientes estrategias:
 - Diseño bioclimático:
 - Reducción de cargas térmicas externas:
 - Dimensionado de huecos permitiendo reducir la insolación en verano y facilitando la entrada de rayos solares en invierno
 - Utilización de protecciones pasivas
 - Uso de sistemas inerciales en fachada
 - Utilización de aerotermia para el aire primario de ventilación.
 - Reducción de cargas térmicas internas:
 - Ventilación nocturna
 - Sustitución de la iluminación artificial por natural
 - Uso de sistemas de iluminación artificial eficientes
 - Reducción de la intensidad lumínica en función de la luz exterior.
- Utilización de las torres de refrigeración para su uso en el circuito de *fan-coils* en las épocas climáticas suaves, logrando valores de COP equivalentes, superiores a 15.

4.1.2. Descripción de los edificios

El conjunto constituido por tres edificios, iniciada la construcción en Enero de 2008, concluyendo en Marzo de 2010, se ha desarrollado en la zona Oeste del Ensanche de Vallecas.

Con respecto a la orientación de las parcelas, el eje de los edificios se encuentra desviado 33° de la dirección N-S, lo que a efectos del CTE hace que las fachadas tengan una orientación en la que predomina la captación de energía, predominando las superficies Norte, Este y Oeste

La singularidad de la envolvente es el uso de una sucesión de grandes pórticos de hormigón conforman la imagen de un prisma de vidrio

Aeroterminia, aplicación de sistemas inerciales de protección pasiva en la edificación terciaria, ...

que alberga en su interior los diferentes usos que requería el programa funcional. El esquema tiene cierta similitud con el cuerpo humano en el que la estructura ósea, además de proporcionar la sustentación, protege los órganos vitales.

Los citados pórticos cumplen la doble misión de proporcionar un control selectivo de la radiación solar, amortiguando los efectos negativos del soleamiento como son el exceso de radiación en verano y parte de los posibles deslumbramientos, conformando parte de la estructura del edificio.



Figura 4.1. Maqueta general.

Todo el edificio se encuentra conectado verticalmente por dos núcleos de comunicaciones e instalaciones, que se ejecutarán con paneles prefabricados de hormigón.

Las plantas de oficinas disponen de una distribución flexible, con posibilidad de compartimentarse mediante divisiones sencillas. Mediante las cartelas de fachada y persianas dispuestas en la fachada, se consigue un adecuado confort lumínico.

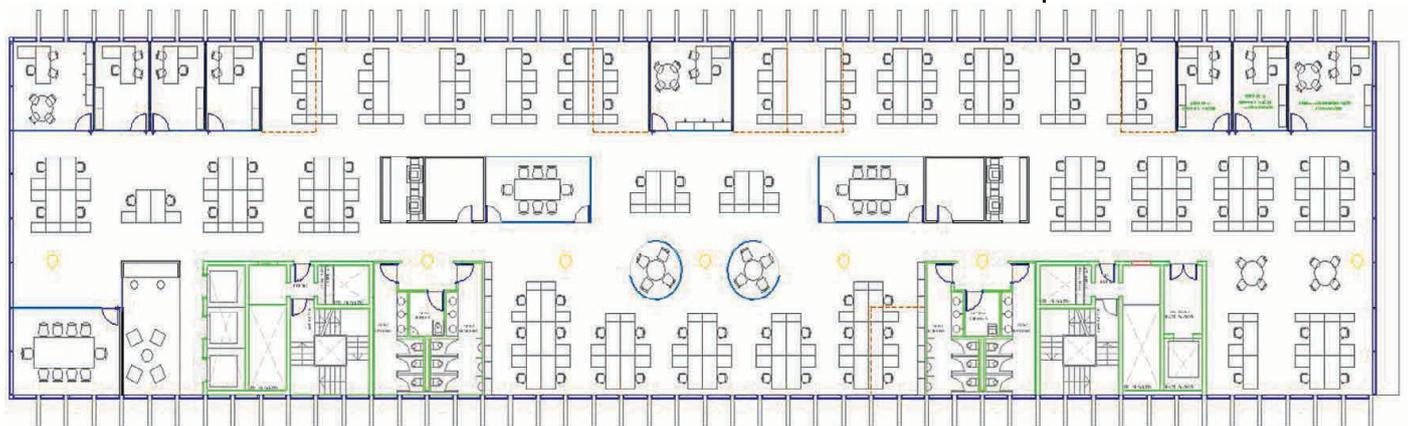


Figura 4.2. Planta tipo de los edificios.



Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

Bajo rasante se desarrollan 3 plantas destinadas al aparcamiento de vehículos y en dos de ellos, un intercambiador tierra aire, cuya misión es suministrar aire primario en condiciones térmicamente favorables al sistema de climatización.

A la hora de proyectar, se han tenido en cuenta entre otros, los conceptos:

- La energía
- El uso del suelo
- Los residuos
- El transporte
- Los materiales
- El agua potable
- El ecosistema
- La atmósfera
- La calidad del aire interior, el confort y la salud
- Las aguas grises.

A la hora de diseñar el edificio se han tenido presente todos los impactos citados a excepción de las aguas grises, dado que no existe una masa crítica en el uso de la tecnología que las manipula, es decir, no es —a nuestro entender— una tecnología madura en el campo de las oficinas.

4.2. CLIMATOLOGÍA

4.2.1. Estudio climático previo

Para el diseño del edificio, se utilizaron diversas fuentes de datos que permitieron aportar las bases para definir los sistemas de producción y los de distribución, aprovechando entre otros la particularidad del clima continental, alcanzando la zona de «Calor Seco», con una máxima media en el mes de julio de 34 °C y con variaciones significativas de temperatura entre el día y la noche.

A este respecto las soluciones evaporativas tienen un elevado impacto en términos de gestión de agua, pero así como la eficacia de la

ventilaci3n, resulta necesaria y 3til en cualquier caso, por lo que en aplicaci3n de la reglamentaci3n actual del RITE, se aplicar3 adem3s esta tecnolog3a para el caso del enfriamiento adiab3tico en el aire de extracci3n y en otros usos similares.

El aire impulsado por los climatizadores al interior del edificio, ser3 tratado con aporte de agua, para evitar los niveles bajos de humedad que conllevan a un incremento de la electricidad est3tica y la posibilidad de la presencia de lipoatrofia en los usuarios.

4.2.2. Exigencias del c3digo t3cnico de edificaci3n.

La situaci3n del eje de los edificios, que se encuentra desviado 33° de la direcci3n N-S, marca la orientaci3n de las fachadas, a efectos del C3digo T3cnico de la Edificaci3n, una en orientaci3n Sureste y otra en Suroeste, tal y como se muestra en la figura siguiente:

El edificio presenta m3s del 60% de superficie acristalada en sus fachadas, originando una importante captaci3n de radiaci3n solar, por lo que es necesario evitarlo.

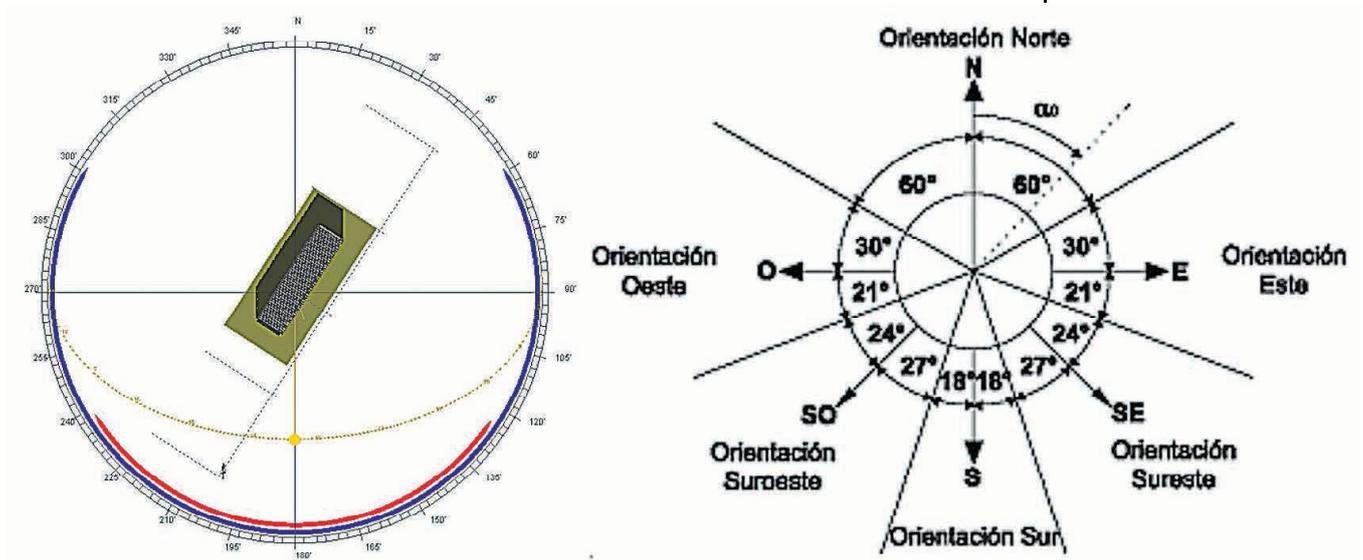


Figura 4.3. Orientaci3n de fachadas.

La ocupaci3n prevista en los edificios y la calidad del aire comprometida con los mismos condicionan un alto caudal de aire de renovaci3n, resultando los valores comprendidos entre 40.000 y 60.000 m³/h.



4.2.3. Consumo de energía en el edificio proyectado inicialmente

En la figura se muestra el desglose de cargas correspondiente al edificio inicial de proyecto, durante el periodo crítico de mayor captación energética exterior, de Mayo a Octubre.

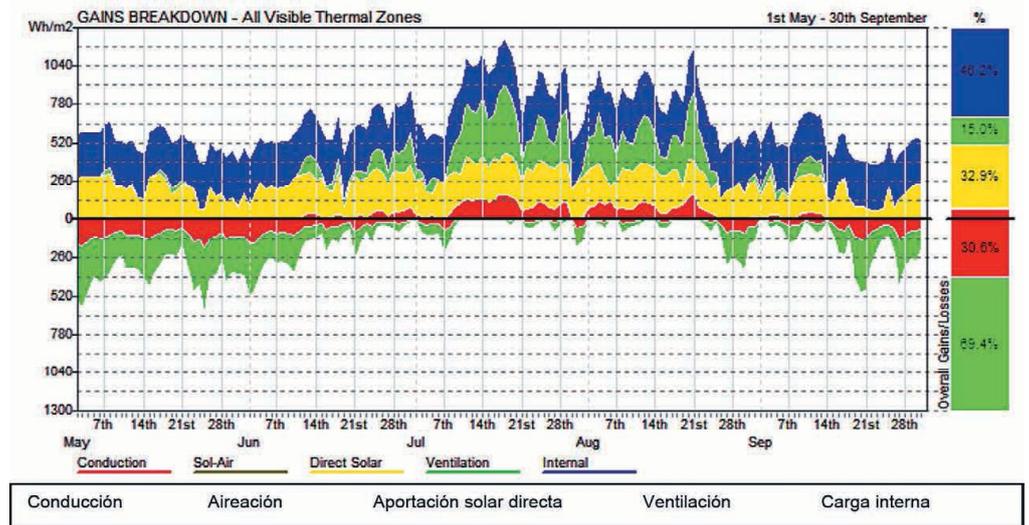


Figura 4.4. Energía del proyecto inicial.

4.2.4. Consumos de los edificios de proyecto y mejoras pasivas

4.2.4.1. Mejora de la protección solar con sistemas inerciales

Como siguiente paso, se procedió a incorporar protecciones solares, que pretenden atenuar los efectos indeseados de la radiación solar, a la vez que mantienen en un elevado grado los niveles de iluminación natural, que repercuten de manera muy positiva en el confort interior.

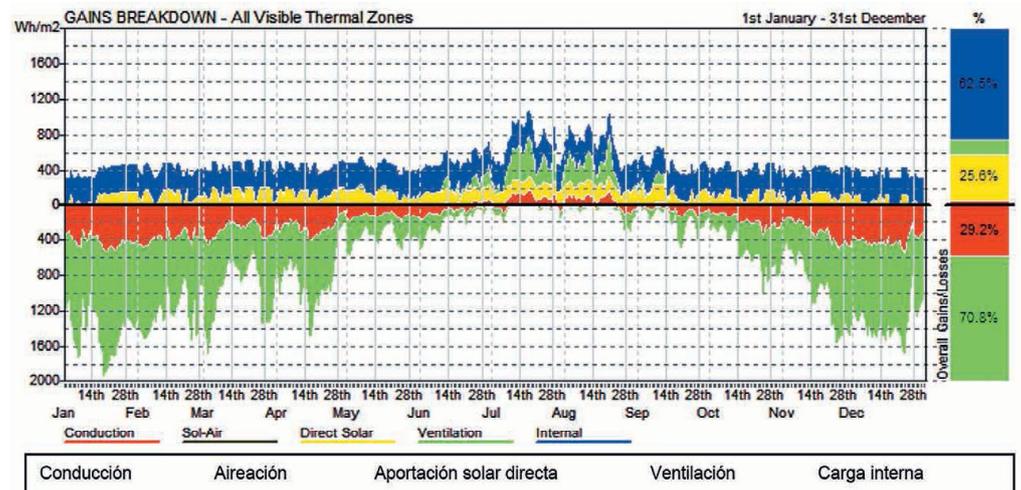


Figura 4.5. Gráfico incorporando las protecciones solares.



Efectuando el mismo balance que en el caso anterior, se observa que ahora el peso de la radiaci3n solar en las ganancias t3rmicas ha descendido un 7%, lo cual se explica mediante la menor radiaci3n solar que incide sobre la envolvente. El resto de conceptos apenas varían en t3rminos relativos, salvo el aumento de protagonismo de las cargas internas, motivado por el descenso en valor absoluto de la radiaci3n solar incidente.

Mes	Calefacci3n (kWh)	Ahorro	Refrigeraci3n (kWh)	Ahorro		
Enero	226.149	-4,3%	17	0,0%		
Febrero	164.914	-3,6%	83	91,6%		
Marzo	129.690	-4,4%	2.936	71,1%		
Abril	102.024	-4,0%	9.600	38,2%		
Mayo	24.130	11,5%	42.955	30,9%		
Junio	6.504	19,9%	85.749	21,3%		
Julio	117	72,4%	163.527	15,0%		
Agosto	1.185	41,2%	150.693	14,0%		
Septiembre	3.442	25,1%	70.791	16,5%		
Octubre	47.941	-0,5%	15.404	45,2%		
Noviembre	124.152	-3,7%	112	97,2%		
Diciembre	212.591	-3,3%	16	0,0%		
					Totales	Ahorro
Total (kWh/año)	1.042.840	-2,8%	541.881	20,6%	1.584,7 MWh/año	
kWh/(m ² -año)	140,2		72,8		213 kWh/(m²-año)	6,6%
Área Climatizada						7440 m ²

Figura 4.6. Energía incorporando las protecciones solares.

Básicamente la protecci3n solar realizada en los edificios, se puede dividir en dos aspectos, por un lado el sistema de protecci3n inercial aportado por el diseño estructural y por otro lado la de debida a las sombras de las costillas y parasoles.

Como se puede observar en las imágenes del edificio, la construcci3n exterior está basada en un conjunto de costillas situadas de forma perpendicular al suelo, que coronan a su vez la cubierta del mismo.

De cada tres costillas colocadas, una es estructural y las otras dos, son decorativas, lo cual junto al muro cortina constituido por los vidrios, forman casi una doble envolvente que consigue una eficiencia energética importante.

Las costillas forman un sistema inercial que regula la captaci3n o pérdidas de energía, tanto en verano como en invierno, ya que la masa de las mismas supera las 1.800 toneladas.

Esta masa, unida a la disposici3n de las mismas en sentido perpendicular a la fachada de vidrio, hace que la energía t3rmica procedente del sol, tenga que calentar la masa de hormig3n, antes de penetrar



Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

en el edificio, ya que dicha masa se ha enfriado a lo largo de la noche.

Sin embargo cuando antes de que la temperatura haya aumentado y por tanto pueda empezar a calentar el interior del edificio, la tierra ha recorrido parte de su órbita solar y la fachada que estaba soleada, pase a estar en sombra, reduciendo el efecto de la incidencia de la energía solar sobre el edificio.

La estructura vertical se prolonga hasta la cubierta del edificio, consiguiendo una doble cubierta de protección ante la insolación y reduciendo las ganancias solares, frente a las que se producirían de no existir estas y someter a la cubierta real, a la insolación permanente

Este efecto se produce también en la cara opuesta a la anterior y orientada a sol de poniente, por lo que las ganancias solares se ven reducidas, como se observa en la figura 4.6.

En invierno la misma estructura impide el enfriamiento rápido del edificio, ya que la pérdida de energía se produce por el gradiente de temperatura que paulatinamente se va reduciendo a través de las costillas.

La posición de estas consiguen otro efecto secundario, que consiste en reflejar la luz solar sobre las mismas, proyectándola al interior del edificio, con un importante ahorro en iluminación artificial, aunque este efecto incrementa ligeramente las necesidades de calefacción, efecto que es paliado por la calidad de los vidrios instalados y la captación de energía solar por radiación en invierno, tal y como se puede observar en las figuras 4.7 y 4.8.



4.2.5. Hip3tesis de funcionamiento en uso

Conocidos los datos anteriores, se tuvieron en cuenta los datos de funcionamiento real en la actividad de uso, puesto que las necesidades energ3ticas pueden variar sensiblemente con la ocupaci3n, el horario, el tipo de uso, comportamiento, costumbres y otras particularidades que pueden modificar sustancialmente los datos globales.

Se establecieron las estimaciones de consumo y necesidades energ3ticas en el edificio, fijando unos criterios de uso que determinaron el comportamiento de cada uno de los sistemas incorporados y la eficiencia de los mismos, que se comprobar3n con el comportamiento real, una vez monitorizados los par3metros previstos.

Con las consideraciones anteriores, se calculan las necesidades energ3ticas estimadas del edificio en MWh, reflejadas en las tablas siguientes.

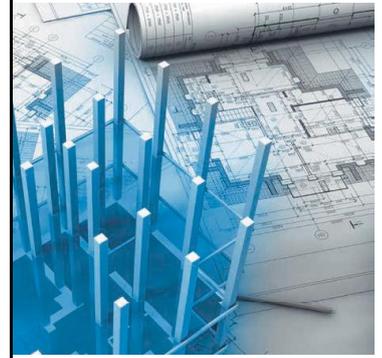
Como se puede observar, la tabla refleja el comportamiento estimado de la envolvente a lo largo del c3mputo anual, por lo que en las 3pocas intermedias, a lo largo del d3a el edificio puede presentar tanto p3rdidas, como ganancias de calor.

Tabla 4.1. Energ3a por la envolvente del edificio.

ENVOLVENTE DEL EDIFICIO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	TOTAL
CALEFACCION	129,4	93,1	72,6	57,2	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	24,4	67,9	121,5	576,5
REFRIGERACION	0,0	1,1	7,9	13,4	51,6	90,8	161,9	151,4	77,7	23,1	1,3	0,0	580,1

Como se puede observar estos datos, que resultan de la aplicaci3n de los supuestos realizados, difieren sustancialmente de los reflejados en el apartado 4.2.4, ya que en aquel no se han tenido en cuenta las particularizaciones correspondientes al funcionamiento del edificio.

A partir de estos datos finales, aplicaremos las mejoras debidas a los sistemas de producci3n activos, as3 como las debidas a la utilizaci3n de las medidas de eficacia energ3tica de los sistemas instalados, dejando para 3ltima instancia el estudio de la incidencia de las otras alternativas de energ3a instaladas.





4.3. EQUIPOS DE PRODUCCION Y DISTRIBUCION

Para compensar las pérdidas y ganancias de calor, restaurando el equilibrio energético por las ganancias debidas a las cargas internas, se instalan en los edificios sistemas de producción de agua caliente y fría.

Los climatizadores renuevan y recirculan el aire necesario para establecer las condiciones higiénico-sanitarias que establece el CTE como consecuencia de la actividad del edificio.

El resto de las cargas internas, se compensan mediante la colocación de fan-coils que están situados en el suelo y cuya instalación se completa con una red de conductos de impulsión, retorno, aire exterior y extracción, a los que se incorporan rejillas o difusores.

4.3.1. Distribución del aire

La entrada del aire en el local se realizará empleando difusión por desplazamiento consiguiendo una calidad mayor de aire.

El sistema de control permite aportar aire desde el intercambiador geotérmico, o bien desde el ambiente exterior, mejorando la eficiencia energética del sistema.

4.4. EMPLEO DE ENERGÍAS RENOVABLES

Como mejora a las características intrínsecas de los edificios, se han instalado sistemas que utilizarán energías renovables, con el fin de aumentar la eficacia energética de los sistemas tradicionales, reduciendo como consecuencia de aquellos el consumo energético y las emisiones de CO₂.

Las renovables instaladas son fotovoltaica, solar térmica y geotermia, de la cual se desarrollan las especificaciones a continuación.

4.4.1. Intercambiador geotérmico tierra – aire

La energía geotérmica se basa, en el aprovechamiento del calor generado por la tierra. Este tipo de energía presenta una ventaja impor-

tante con respecto al resto y es que el flujo de producción de energía constante a lo largo del año, ya que no depende de variaciones estacionales tales como lluvias, horas de sol, etc.

En el proyecto, dicha energía se incorporará a dos de los edificios construidos mediante la instalación de un intercambiador geotérmico tierra – aire, que suministrará aire primario al sistema de climatización, proporcionando un importante ahorro energético.

Se trata de un sistema en el que el aire se capta del exterior, se canaliza hasta una determinada profundidad del suelo, y mediante un intercambiador se enfría o calienta para ser impulsado hacia el edificio.

El diseño del intercambiador geotérmico está basado fundamentalmente en los siguientes criterios:

- Distribución de la temperatura del suelo a distintas profundidades que es función de la temperatura ambiente del aire y de las características del suelo
- Una serie de datos adicionales relativos a datos climáticos del edificio, tales como el flujo de volumen de aire, la temperatura interna de diseño, el umbral de calefacción o refrigeración, etc.

El principio de funcionamiento de esta tecnología se encuentra en que las variaciones diarias y estacionales de la temperatura del suelo, respecto a la que existe sobre él, se amortiguan rápidamente con la profundidad, de tal modo que el medio edificio actúa como tampón frente a la variabilidad de la temperatura atmosférica del lugar.

Conforme descendemos en profundidad, las fluctuaciones diarias y estacionales de la temperatura del suelo se reducen rápidamente hasta que por debajo de 15 m de profundidad, suelen ser despreciables.

Por otra parte y dadas las características de uso del edificio, podemos encontrar situaciones intermedias a lo largo de las distintas épocas climáticas del año, en las que interese acumular los excedentes o deficiencias térmicas del interior del mismo, para aportarlas al terreno y usar esta energía en el siguiente ciclo, utilizando pues el terreno a veces como fuente energética y otras como sumidero.



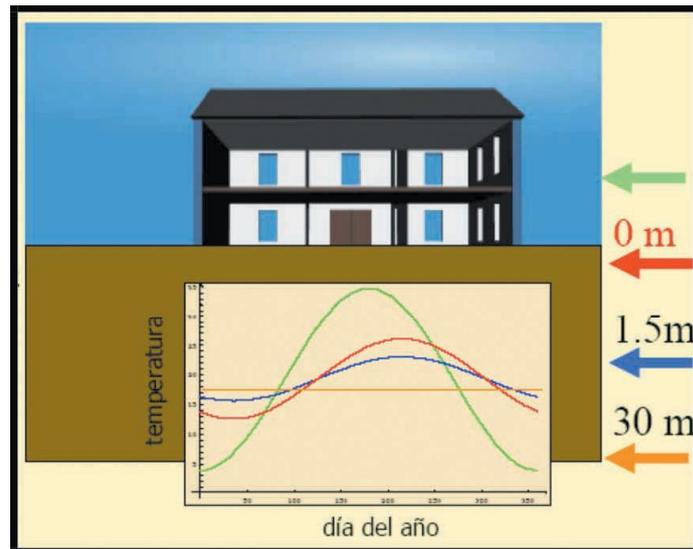


Figura 4.9. Gráfica de temperatura geotérmica.

La figura representa el esquema del intercambiador geotérmico tierra-aire que se utiliza en este proyecto y que está formado por una serie de tubos que aseguran el contacto térmico entre las conducciones de aire y el suelo.

La capacidad reguladora de temperatura del suelo, la gran masa de inercia que representa la masa de arena que rodea a los tubos de intercambio y el aporte energético del propio edificio, es la que mantendrá una temperatura más o menos constante en el aire del interior de las tuberías.

Cuanto más profundos estén los tubos, mejores resultados se obtendrán en la regulación de la temperatura; sin embargo, como la excavación es cara, se ha intentado llegar a un compromiso entre los costes de excavación y la reducción del rendimiento del intercambiador por instalarse próximo a la superficie, instalando este a una profundidad de unos 18 m, de la cota de rasante.

Se prevé, que el intercambiador geotérmico suponga importantes ahorros de energía eléctrica en la producción de aire frío, así como de gas en la producción de calor, estimando un periodo de amortización de la instalación de nueve años, según los datos establecidos anteriormente, considerando el coste al que actualmente se encuentran los combustibles y supondrá una disminución en el consumo energético por encima del 10% anual.

Por otro lado, conllevar3 una disminuci3n notable de las emisiones de CO₂, y de los gases de efecto invernadero en general, evitando la emisi3n de unas 17 toneladas de gases de efecto invernadero.

El aire primario que se utilizar3 en los edificios donde se incorpora este sistema, vendr3 pretratado mediante el intercambiador tierra-aire, expuesto anteriormente, que calienta el aire en invierno y lo refresca en verano, y se introducir3 en los climatizadores mezcl3ndose con el aire de retorno.

La variaci3n de temperatura en el aire exterior ser3 como m3nimo de 3 °C.

El intercambiador no entrar3 en funcionamiento cuando la diferencia de temperatura del aire exterior con la del terreno, sea inferior a 5 °C, salvo cuando el uso del terreno sea como sumidero de energ3a. En el resto de casos el aire de ventilaci3n se conduce por un *by-pass*.

Se describe la filosof3a de este intercambiador Tierra-Aire, tambi3n denominado pozo canadiense, el cual parece encajar adecuadamente en este proyecto, puesto que act3a sobre el aire de renovaci3n, permitiendo introducir aire fresco del exterior sin penalizar tanto el contenido t3rmico del mismo, dado que se atempera previamente a su entrada en el ambiente interior con el calor acumulado en el terreno.

A partir de los 10 o 12 m de profundidad, la temperatura del terreno se mantiene moderadamente estable en torno al valor medio de la temperatura anual. Esta temperatura es susceptible de variar por efecto del intercambiador, lo cual depende en gran medida del acierto del dise1o efectuado, y de la cantidad de calor que se pretenda intercambiar.

En el modelo de intercambio, se emplear3n tuber3as de 315 mm de di3metro y una longitud equivalente a la anchura de la planta del edificio, con objeto de ir ubicado en la misma parcela, debajo del propio edificio, por lo que se ha estimado una longitud de los tubos de 18 m.



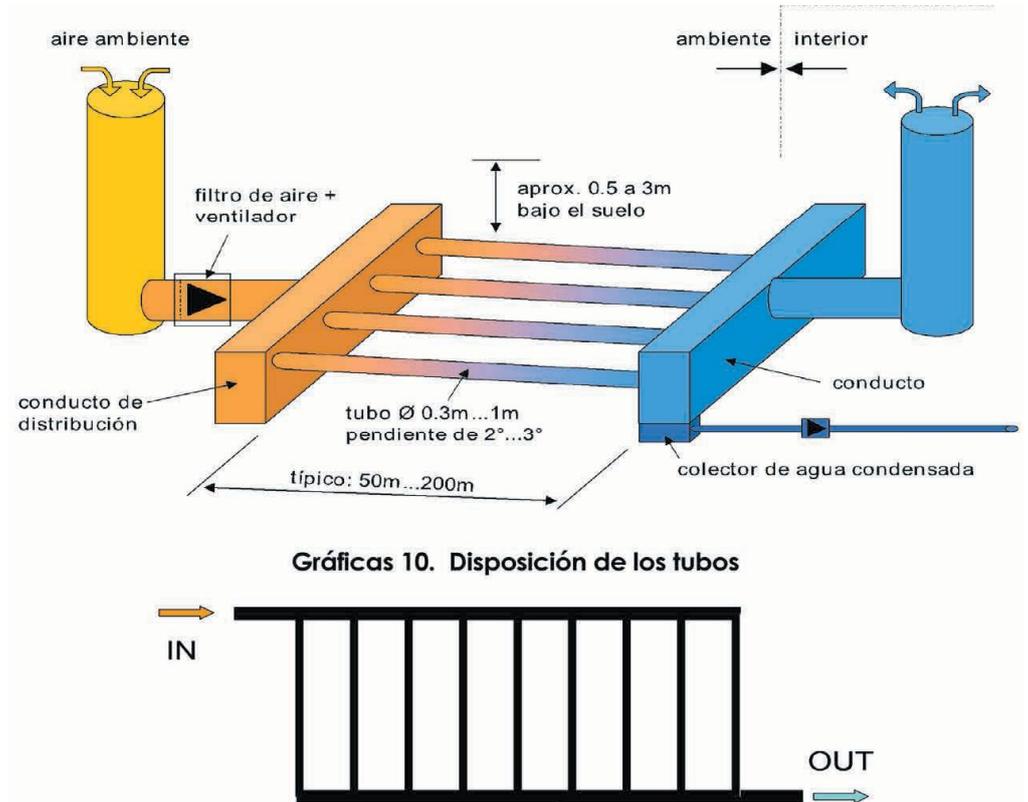


Figura 4.10. Disposición de los tubos.

Los tubos estarán separados una distancia de 1 m, con lo que se ubican conforme a la siguiente tipología:

El ahorro que proporciona esta solución se basa, como se ha comentado anteriormente, en la introducción del aire exterior en condiciones más cercanas a las de confort, con lo que ahorra la energía necesaria para enfriar (o calentar) el aire exterior hasta el nivel térmico que se obtiene a la salida del intercambiador.

La cantidad de aire empleado para este cálculo se basa estrictamente en el calculado para mantener la calidad de aire interior dentro de los límites establecidos por el RITE, que como se ha comentado previamente, para oficinas se establece la clase IDA 2.

Cabe destacar, que las herramientas de simulación de edificios existentes, incluida la puesta a disposición del público general por el Ministerio de Vivienda y el Ministerio de Industria, el LIDER, no permiten introducir esta técnica en sus modelos, por lo que la estimación del ahorro se basa en modelos desarrollados a medida para las obras, que obligan a tratarlos de manera separada en la evaluación energética de los pro-

yectos, y a generar documentaci3n independiente a la generada por el LIDER de cara a la inminente certificaci3n energ3tica de los edificios.

Para el caso actual, se estima que pase un caudal de aire equivalente a 40.000 m³/h.

El comportamiento del intercambiador provoca que el mayor ahorro se produce cuanto m3s extremas son las condiciones exteriores, lo que permite pensar que en el caso de un clima interior, en un edificio con elevados requisitos de calidad de aire interior, puede producir un ahorro muy significativo.

Se muestra que en los casos extremos puede haber una diferencia de hasta 7 °C entre el aire exterior (39 °C) y el de salida del intercambiador (32 °C). Este salto se produce en los momentos de mayor carga t3rmica interior y de mayor ocupaci3n, lo que repercute en un aumento de la tasa de confort de manera gratuita.

Sin embargo en el modelo que se ha dise1ado y como consecuencia de la disposici3n de los tubos y el caudal de aire de recirculaci3n, en el modelo te3rico de reducci3n de consumo de energ3a, se ha limitado el salto t3rmico entre la temperatura de entrada y salida de aire que oscila entre 3 y 5 °C.

Tabla 4.2. Datos del funcionamiento geot3rmico.

MEDIA DE DATOS	°C (1)	DT m3ximo (2)	DT intercambio (3)	Temp. Salida (4)	Kcal/H (5)	kWh/ mes (6)
Enero	6,77	7,23 °C	3,00 °C	9,77 °C	36.000	7.367
Febrero	8,61	5,39 °C	3,00 °C	11,61 °C	36.000	7.367
Marzo	11,75	2,25 °C	2,25 °C	14,00 °C	27.000	5.526
Abril	13,29	0,71 °C	0,71 °C	14,00 °C	8.520	1.744
Mayo	16,88	0,12 °C	0,12 °C	17,00 °C	1.440	295
Junio	22,84	2,84 °C	2,84 °C	20,00 °C	34.080	6.975
Julio	25,13	5,13 °C	3,00 °C	22,13 °C	36.000	7.367
Agosto	24,95	4,95 °C	3,00 °C	21,95 °C	36.000	7.367
Septiembre	20,45	0,45 °C	0,45 °C	20,00 °C	5.400	1.105
Octubre	15,35	1,65 °C	1,65 °C	17,00 °C	19.800	4.052
Noviembre	9,53	4,47 °C	3,00 °C	12,53 °C	36.000	7.367
Diciembre	6,9	7,10 °C	3,00 °C	9,90 °C	36.000	7.367





REFERENCIA	NOTAS DEL CUADRO DE MEDIAS DE DATOS	
1	Temperatura media del mes, durante los últimos 10 años medidos	
2	Diferencia de temperatura entre la media del aire y la supuesta en el terreno más 3 °C	
3	Máxima diferencia de temperatura entre entrada y salida del intercambiador	
4	Temperatura del aire a la salida del intercambiador	
5	Potencia máxima conseguida en el intercambiador	
6	Energía transmitida por el intercambiador al aire	
	Temperatura media del terreno considerada 17 °C	
	Caudal de aire total trasegado en los tubos de intercambio por edificio 40.000 m³/h	
	Energía total anual transmitida por el intercambiador 63.900 kWh/año	
Colores		Aire en proceso de precalentamiento
Colores		Aire en proceso de preenfriamiento

No obstante, el intercambiador requiere el uso de un sistema de by-pass, puesto que como se ve en la imagen, por la noche el aire exterior puede bajar su temperatura por debajo de la del propio terreno, fiel a las condiciones del clima interior, lo que presenta más interesante introducir directamente el aire del exterior, como estrategia de refrigeración nocturna, y dejar al intercambiador al margen del sistema de ventilación.

El intercambiador y el conjunto del volumen que ocupa, constituye un sistema inercial cuyos datos más relevantes son los siguientes:

- Ocupa una superficie neta de 828 m² en planta
- La altura de arena que rodea a los tubos tiene una media de 1,5 m
- El volumen de arena es de 1.242 m³ cuyo peso es de 1.500 Tm
- La temperatura de almacenamiento de la arena oscila entre 20 y 10 °C
- La capacidad de acumulación de energía es de 3,4 MWh
- El sistema de control y regulación de los edificios, logra que el terreno funcione alternativamente a lo largo del año como fuente o sumidero energético.

Aeroterminia, aplicación de sistemas inerciales de protección pasiva en la edificación terciaria, ...

Evaluando el ahorro que produce cada hora, y estimando un adecuado control del by-pass, el ahorro total que produce en refrigeración entre mayo y septiembre es de 23.000 kWh. En el caso de la calefacción, sucede lo contrario, que durante las horas más cálidas de los días fríos, resulta más favorable la introducción directa del aire del exterior, y el intercambiador muestra un importante ahorro en momentos con temperatura exterior más fría que la del propio terreno, suponiendo un ahorro por este concepto de 40.900 kWh.

Con el fin de conocer el comportamiento real del terreno donde está situado el intercambiador, desde Diciembre de 2009, se procedió a registrar las temperaturas del terreno, mediante la colocación de 8 sondas de temperatura en los sondeos que se hallan colocadas bajo el suelo del tercer sótano y distribuidos estratégicamente en la proyección de la planta.

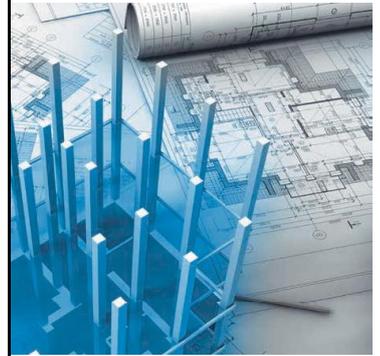
Una sonda situada en el exterior del edificio, registra así mismo la variación de la temperatura de la calle, durante las mediciones.

Este registro de temperaturas, pretende conocer la variación de la temperatura del terreno, ante la alteración de la temperatura exterior, permitiendo conocer la reacción del terreno, obteniéndose la gráfica siguiente y en la que en color azul está representada la temperatura media de las 8 sondas y en rosa las temperaturas exteriores.

Estos resultados nos permitirán estudiar a priori las posibilidades del terreno, con el fin de aplicarlo al funcionamiento real del sistema.

Las sondas instaladas, se usarán en el funcionamiento normal del intercambiador, para poder regular eficazmente el sistema y utilizar el terreno de manera eficaz en función de su temperatura, junto con la del interior del edificio y la exterior.

En las figuras siguientes se reflejan los datos que se han recogido para las temperaturas interiores y exteriores en distintas fechas.



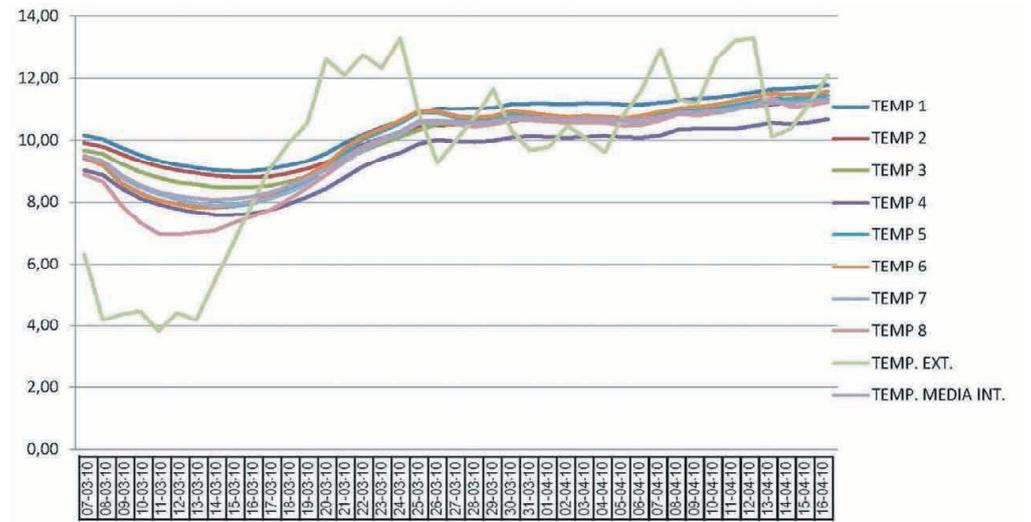


Figura 4.11. Evolución de las temperaturas en régimen estático.

Se puede observar en ambas gráficas, que a pesar de las variaciones de la temperatura exterior que oscila entre $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $13\text{ }^{\circ}\text{C}$, la temperatura del terreno se mantiene estable durante el periodo de lectura de datos.

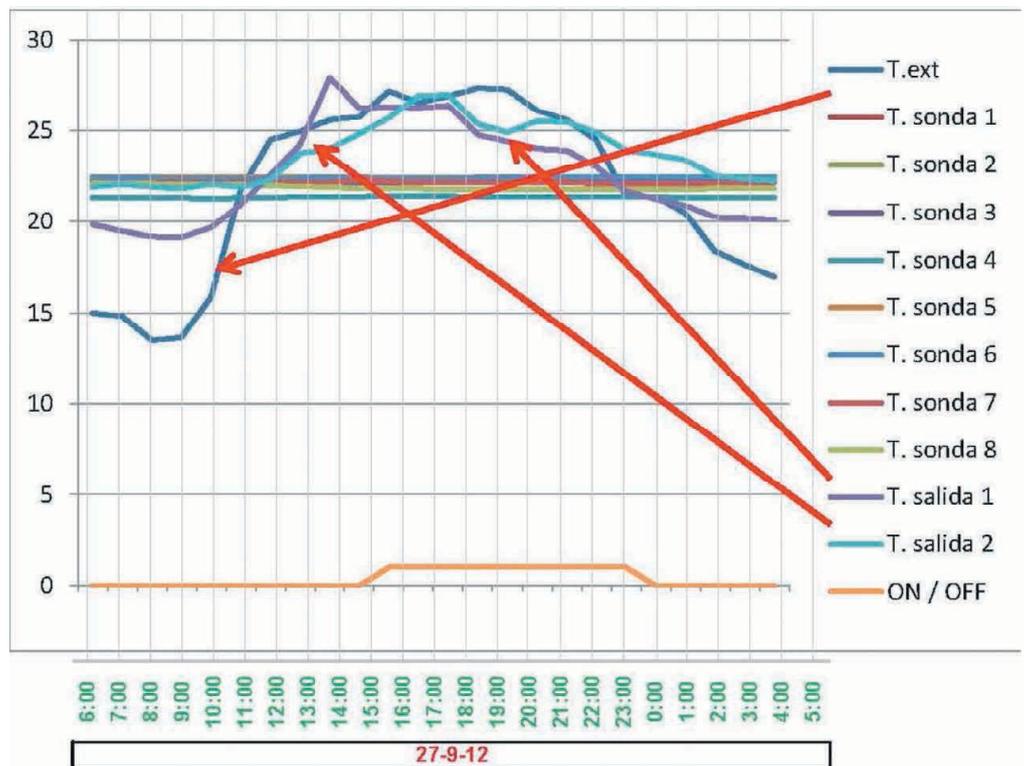


Figura 4.12. Evolución de las temperaturas en régimen dinámico.

En la Figura 4.11 se representa la evolución de las temperaturas en funcionamiento real el día 27-9-11.

Si tenemos en cuenta la energía que se estima ahorrar como aplicación del intercambiador geotérmico, obtendremos los datos que se reflejan en la siguiente tabla.

TABLA 4.3. Energía total necesaria funcionando la geotermia.

ENERGIA APLICANDO GEOTERMIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	TOTAL
CALEFACCION	142,1	96,8	65,4	45,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,3	73,4	136,8	572,9
REFRIGERACION	0,0	0,0	9,0	31,2	81,8	152,5	232,3	214,5	121,0	44,9	0,0	0,0	887,2

4.5. UTILIZACION DE SISTEMAS DE ELEVADA EFICIENCIA ENERGETICA

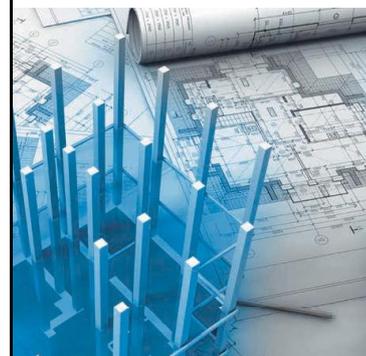
Completando el conjunto de los sistemas incorporados, se han instalado equipos que poseen por si mismos una elevada eficiencia energética o que por una aplicación complementaria de ellos, reducen de forma directa o indirecta el consumo de energía y con ello aumenta la eficiencia energética de los edificios.

En los apartados siguientes se describen los equipos que están encuadrados dentro de estos sistemas, incorporando los datos de ahorro energético estimados para los mismos.

4.5.1. Uso del *free-cooling* en climatizadores

Madrid es una ciudad con un bajo índice de humedad relativa, circunstancia que es muy favorable para utilizar el sistema de *free-cooling* en el enfriamiento gratuito del edificio.

El sistema consiste en utilizar directamente el aire exterior, cuando la entalpía de este es inferior a la del interior del edificio. Las sondas que se encuentran en el sistema de control y regulación, se encargan de accionar las compuertas del *free-cooling* de los climatizadores, así como las válvulas que cortan el flujo de agua de refrigeración a los mismos. Este sistema solo es efectiva su aplicación en las necesidades de refrigeración.





Los datos climáticos y energía ahorrada, se reflejan en la tabla siguiente:

Tabla 4.4. Energía final aplicando el *free-cooling*.

DENOMINACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	TOTAL
TEMPERATURA MEDIA INTERIOR	21	21	21	21	22	23	24	24	24	23	22	21	
HUMEDAD MEDIA INTERIOR	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	
CONTENIDO DE AGUA gr/m ³ de aire seco	7,80	7,80	7,80	7,80	8,25	8,75	9,50	9,50	9,50	8,75	8,25	7,80	
TEMPERATURA MEDIA EXTERIOR DEL AIRE EN EL DIA	10,25	12,65	16,05	19,3	21,45	29,3	31,7	30,85	25	19,75	13,4	10,15	
HUMEDAD MEDIA RELATIVA DEL AIRE	65%	59%	50%	48%	45%	39%	30%	32%	46%	59%	64%	70%	
CONTENIDO DE AGUA gr/Kg de aire seco	4,88	5,31	5,75	6,72	7,20	9,75	9,60	9,28	9,20	8,85	6,08	5,25	
ENERGIA CONSUMIDA EN TABLA 6	0,0	0,0	9,0	31,2	81,8	152,5	232,3	214,5	121,0	44,9	0,0	0,0	866,5
ESTIMACION DE AHORRO ENERGETICO	0,0	0,0	3,5	3,1	1,2	1,0	0,0	0,0	1,1	4,4	0,0	0,0	14,3
ENERGIA FINAL NECESARIA	0,0	0,0	5,5	28,1	80,6	151,4	232,3	214,5	119,9	40,6	0,0	0,0	852,2

4.5.2. Utilización de la ventilación nocturna

Es sobradamente conocido, que en un edificio de oficinas la carga interna es muy elevada, dado el número de equipos que disipan energía al ambiente, así como la alta densidad de personas por m², que a pesar de que la actividad física es moderada en la mayoría de los casos, la aportación de energía es muy alta.

Estas energías mencionadas se quedan de forma residual en el interior del edificio, en paredes, muebles, enseres, debido a la inercia que suponen estos elementos. Cuando se detiene el funcionamiento durante el horario nocturno, esta energía acumulada aflora al ambiente, perjudicando con un consumo extraordinario la puesta en régimen durante el siguiente periodo de funcionamiento.

Aeroterminia, aplicación de sistemas inerciales de protección pasiva en la edificación terciaria, ...

Es este caso es muy interesante aprovechar la existencia de las utas para ventilar y absorber esta energía, ya que la temperatura nocturna a lo largo del año por lo general es inferior a la del interior del edificio cuando se da la circunstancia anterior.

En los edificios la puesta en marcha de los climatizadores en el periodo nocturno, reducirá la energía acumulada.

Un sistema de sondas de temperatura tanto exterior como interior, pone en marcha las utas, en función del diferencial de temperatura, con lo que se consigue disminuir la energía excedente en los edificios y con ello bajar la carga energética acumulada y con ello la temperatura del ambiente.

La ventilación natural o forzada, realizada a través de aperturas controlables influye muy positivamente tanto en la eficiencia energética de los edificios como en el confort térmico de los ocupantes de los edificios. Se trata de una técnica sencilla y válida para aclimatar interiores en muchos momentos del año, que ofrece las siguientes ventajas:

- Se evitan consumos innecesarios de energía
- Se evita el Síndrome del Edificio Enfermo facilitando la entrada de aire fresco
- Se generan condiciones más confortables.

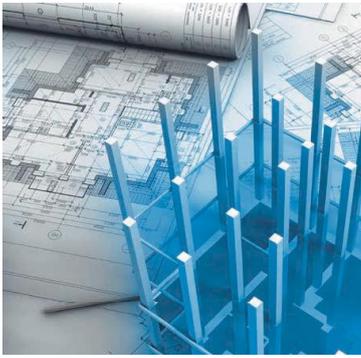
Se propone para el proyecto, un sistema de control que utiliza las utas para hacer una ventilación no solo por la necesidad de renovar el aire interior durante el horario de ocupación, como de utilizarlo para hacer una ventilación fuera de este horario, para reducir la carga térmica acumulada durante el horario laboral, para alcanzar el máximo confort al día siguiente, con el mínimo consumo de energía posible.

Dicho sistema estará provisto de sensores de temperatura y humedad del aire exterior, para evitar efectos negativos debido a agentes atmosféricos imprevistos.

Así mismo el sistema de control estará preparado para utilizar este conjunto pudiendo pasar el aire por el intercambiador geotérmico o no, por medio del uso del by-pass, por lo que en la siguiente tabla solo consideraremos los posibles ahorros por este tipo de ventilación, al margen de los obtenidos por aplicación del sistema geotérmico.

Como se ha podido observar en otras tablas anteriores, el uso de este sistema es únicamente posible en aquellos casos en los que la tempe-





ratura exterior del aire, es inferior a la interna, considerando a efectos de eficiencia aquel valor destinado a eliminar la energía residual de la carga interna.

En los valores de ahorro estimados, se ha deducido el dato del consumo de los ventiladores, ya que suponemos que de no considerar el funcionamiento de este sistema, los ventiladores de los climatizadores correspondientes, no funcionarían.

Tabla 4.5. Energía final aplicando el sistema de ventilación nocturna.

VENTILACION NOCTURNA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	TOTAL
AHORRO VENTILACION NOCTURNA (2)	0,0	0,0	2,0	1,8	1,8	0,6	0,3	0,3	1,4	1,4	0,0	0,0	9,7

4.5.3. Uso de torres de refrigeración para enfriamiento directo

El emplazamiento de los edificios y la climatología del lugar, hace ideal la utilización de las torres de enfriamiento para enviar el agua de estas al circuito de *fan-coils*, con el simple montaje de un sistema de válvulas de control todo-nada.

Las torres son equipos capaces de disminuir la temperatura del agua y eliminar energía térmica con un consumo eléctrico muy bajo y un pequeño aporte de agua de red. La temperatura a la que se puede bajar el agua de la torre, es de 5 °C por encima de la del bulbo húmedo, esto quiere decir, observando la tabla que se refleja a continuación, que las temperaturas a las que se puede usar este sistema son las reflejadas en color azul, indicando además las épocas climáticas en las que se puede usar.

Hay que indicar que justo cuando se puede aplicar este sistema, las necesidades de refrigeración son relativamente bajas, por lo que podemos impulsar el agua a temperaturas ligeramente superiores que en régimen normal de verano, logrando además un mayor confort, ya que la temperatura de impulsión del aire será mayor, consiguiendo un efecto idóneo en el ambiente, puesto que esta situación se da en las etapas de clima frío.

Aeroterminia, aplicación de sistemas inerciales de protección pasiva en la edificación terciaria, ...

Los valores reflejados corresponden a temperaturas medias durante el día, por ello será posible conseguir valores inferiores y por tanto una mayor utilización del sistema, cuando la temperatura del exterior sea inferior.

Este es un sistema muy eficaz sobre todo en aquellos casos en los que sea necesaria la aportación de refrigeración en las épocas frías, constituyendo pues un sistema redundante a los mencionados anteriormente.



DENOMINACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
TEMPERATURA MEDIA INTERIOR	21	21	21	21	22	23	24	24	24	23	22	21
TEMPERATURA MEDIA EXTERIOR DEL AIRE EN EL DIA	10,25	12,65	16,05	19,3	21,45	29,3	31,7	30,85	25	19,75	13,4	10,15
HUMEDAD MEDIA RELATIVA DEL AIRE	65%	59%	50%	48%	45%	39%	30%	32%	46%	59%	64%	70%
TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO	7,5	9,5	11	14	15	19	20	19,5	17	15	10	8
TEMPERATURA MINIMA DEL AGUA	12,5	14,5	16	19	20	24	25	24,5	22	20	15	13
TEMPERATURA DE UTILIZACION	13	15	16	NO SE PUEDE USAR							15	13

En las zonas no sombreadas, no es posible el uso de este sistema y las torres de refrigeración funcionarán de forma convencional, aportando el agua de refrigeración al sistema de condensación de las unidades enfriadoras, ya sea de compresión mecánica o de absorción.

Un sistema de sondas de temperaturas, unido a la orden de uso del circuito de refrigeración, hace funcionar al conjunto de forma automática.

ENERGÍA APLICANDO TORRE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	TOTAL
REFRIGERACION	0,0	3,7	8,3	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	4,2	0,0	20,3

El balance final de consumo energético en refrigeración, no se ha indicado, ya que se desconoce la prioridad de la aplicación de los ahorros.

4.6. SISTEMA DE MONITORIZACIÓN Y SEGUIMIENTO ENERGÉTICO

Con el fin de conocer la eficiencia de los sistemas utilizados, las distintas tecnologías aplicadas y obtener experiencias que servirán en



Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

el futuro para optimizar el diseño de los edificios y utilizar las tecnologías más interesantes, se va a llevar un estudio de las diferentes estrategias de eficiencia energética, empleadas en la construcción de los tres edificios, y descritas en la presente memoria, integrando con el sistema de regulación un sistema de monitorización y seguimiento energético que funcionará durante toda la vida útil de las instalaciones, con objeto de recoger toda la información posible para el control remoto y en tiempo real del estado de cada una de las instalaciones.

Con este conocimiento generado, se podrán tomar decisiones con la finalidad de optimizar la producción y el consumo de cada uno de los diferentes sistemas instalados.

Se desarrollará un sistema de control y monitorización de los parámetros que resulten interesantes de cada una de las instalaciones de suministro energético de los tres edificios, con el fin de optimizar el funcionamiento de las mismas. Se recogerá toda la información necesaria para controlar el comportamiento energético de los tres edificios de forma remota, con la finalidad de optimizar la producción y el consumo de energía.

La monitorización de los tres edificios será una valiosa herramienta para la obtención de conclusiones a cerca de los sistemas más rentables desde el punto de vista energético, a partir de los datos recogidos e integrados y mediante estudios sobre las prestaciones, rendimientos y costes de los distintos tipos de instalaciones.

Los sistemas recogerán los datos de temperaturas, humedad, velocidad de bombas, ventiladores, posición de compuertas, válvulas motorizadas, contadores de energía y otros datos, registrando hasta 280 variables distintas, cuyos valores se tomarán cada 15 minutos. Estos registros se volcarán en una base de datos, desde donde se manejará la información para obtener los resultados reales de funcionamiento.

4.7. RESULTADOS REALES

Desde la ocupación del edificio en Julio de 2010, se han estado ajustando los parámetros de funcionamiento de la instalación, verificando la respuesta de los distintos sistemas a las variaciones de las tem-

peraturas y las cargas térmicas internas, hasta considerar que en la época estival, las condiciones de confort se cumplían.

A partir del mes de Enero de 2011 se inició la monitorización y registro de los datos de consumo con los contadores de energía que se encuentran dispuestos en la instalación de los edificios, reflejando estos datos en la tabla 4.6.

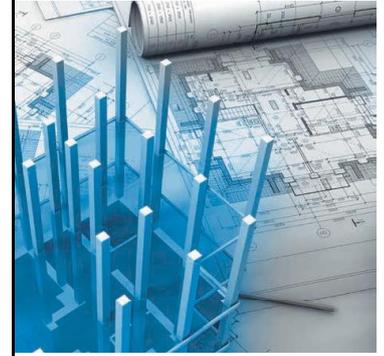


Tabla 4.6. Resultados reales.

EQUIPO	UNID	ENE 2011	FEB 2011	MAR 2011	ABR 2011	MAY 2011	JUN 2011	JUL 2011	AG 2011	SEP 2011	OCT 2011	NOV 2011
APLIC. TORRE FAN-COILS	MWh	7,3	7,4	4,1	5,5	3,7	0	0	0	0	4,3	2,2
CLIMAT. -1- SUR CALOR	MWh	10,4	4,1	0	0	0	0	0	0	0	0,2	3,5
CLIMAT. -2- SUR CALOR	MWh	16,5	5,4	0	0	0	0	0	0	0	0,5	5,2
CLIMAT. -3- NORTE CALOR	MWh	2,1	2,7	0	0	0	0	0	0	0	0,1	1,3
CLIMAT. -4- NORTE CALOR	MWh	8,3	4,6	0	0	0	0	0	0	0	0,4	4,7
CLIMAT. -1- SUR FRIO	MWh	0	1,2	0,5	3,0	3,3	7,8	19,7	9,3	12,5	3,9	0,8
CLIMAT. -2- SUR FRIO	MWh	0	0,7	0,6	1,8	2,7	4,5	8,3	6,4	9,7	1,7	0,4
CLIMAT. -3- NORTE FRIO	MWh	0	0	0	0	0	1,7	7,6	6,1	7,9	3	0,7
CLIMAT. -4- NORTE FRIO	MWh	0	0,4	0,7	0,1	0,9	2,5	6,8	5,7	6,4	1,4	0,3
ENFR. MEC. FRIO	MWh	0	23,2	3,5	18,6	40,3	72,9	220,3	85,4	128,7	21,1	8,1
FAN-COILS SUR CALOR	MWh	14,0	25,0	20,8	1,0	0	0	0	0	0	2,3	4,8
FAN-COILS NORTE CALOR	MWh	42,0	31,0	64,0	2,0	0	0	0	0	0	2,6	5,2
FAN-COILS SUR FRIO	MWh	4,3	10,5	3,2	6,3	15,3	27,6	90,4	26,8	45,2	11,0	3,2
FAN-COILS NORTE FRIO	MWh	3,0	10,4	1,2	12,8	18,2	23,5	84,7	23,4	37,4	8,4	2,9
SUELO RADIANTE CALOR	MWh	7,6	5,1	3,9	0	0	0	0	0	0	2,2	2,7

EQUIPO	UNID	DIC 2011	ENE 2012	FEB 2012	MAR 2012	ABR 2012	MAY 2012	JUN 2012	JUL 2012	AG 2012
APLIC. TORRE FAN-COILS	MWh	1,3	9,0	7,0	12,6	5,1	0	0		
UTA's SUR CALOR	MWh	8,5	7,9	10,0	1,5	2,4	1,9	0		
UTA's NORTE CALOR CALOR CALOR	MWh	6,2	6,4	6,9	2,2	2,9	1,6	0		
UTA's SUR FRIO	MWh	0	1,6	1,6	6,2	2,2	12,0	14,2		
UTA's NORTE FRIO	MWh	0	0,1	3,6	10,3	1,7	12,9	13,0		
ENFR. MEC. FRIO	MWh	4,8	0	0	14,9	3,6	49,2	78,7		
FAN-COILS SUR CALOR	MWh	19,6	22,0	23,6	13,3	11,3	5,4	0		
FAN-COILS NORTE CALOR	MWh	27,7	29,0	30,0	17	12,0	5,5	0		
FAN-COILS SUR FRIO	MWh	2,6	3,8	4,3	7,6	4,1	15,0	26,3		
FAN-COILS NORTE FRIO	MWh	2,3	2,0	0,6	3,4	0,7	8,0	5,7		
SUELO RADIANTE CALOR	MWh	7,1	7,5	6,5	5,7	5,4	2,0	0		



Figura 4.13. Edificios de oficinas del grupo Ortiz en el P.A.U. de Vallecas.

5

INTEGRACIÓN DE SISTEMAS TERMOACTIVOS PARA EFICIENCIA. PRINCIPIOS Y CASOS

Luis de Pereda Fernández

ENERES, Sistemas Energéticos Sostenibles.

Instituto Europeo de Innovación, IEI.

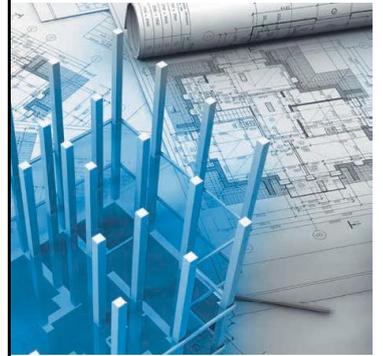
5.1. INTRODUCCIÓN

La técnica de la termoactivación de las estructuras de los edificios apunta a la disolución de la falacia de la Arquitectura multifragmentada en los campos del diseño, las ingenierías y todos sus derivados. Las estructuras termoactivas son un campo de integración de los sistemas de los edificios con las estrategias energéticas y abren numerosas e innovadoras posibilidades a la Arquitectura.

Desde la primera frase, del primer capítulo, de sus Diez Libros de Arquitectura, Vitrubio nos dice en que la especificidad de la Arquitectura es la integración de múltiples y necesarios campos de conocimiento. Hoy, en el actual contexto disciplinar, la Arquitectura está más que nunca atacada por un proceso de desintegración disciplinar que desnaturaliza la rica complejidad y la eficiencia inherente a la materialización arquitectónica. La necesidad de la eficiencia nos redirige hacia principios básicos de integración que, como este de las estructuras termoactivas, plantean esa integridad en el marco de la relación, de la interacción, del hombre con el medio a través de la Arquitectura.

En la progresión hacia la eficiencia, los edificios van adquiriendo el papel de reguladores y equilibradores de los flujos, de todo tipo, que los atraviesan. Usando una imagen de Joël de Rosnay, cuanto más eficientes son en la obtención de bienestar y la gestión de los recursos más se comportan como un surfista que sobrevive en un medio fluido.

Como un surfista sobre su tabla un edificio eficiente y sus usuarios «surfean» a través de flujos termodinámicos y flujos de información. Gestionan sus recursos y regulan su comportamiento para intercambiar





Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

con el medio todo aquello que este les puede aportar y gestionar su transformación y su transferencia con eficacia.

Las conexiones fijas, estructuras sólidas, formas geométricas, evoluciones lineales y secuenciales dejan paso a conceptos nuevos que vienen a enriquecer nuestra visión del mundo. Lo que prima son los vínculos, las interrelaciones, las interdependencias los equilibrios dinámicos o los estados estacionarios que se concretan en el concepto de homeostasis: la estabilidad dinámica y el mantenimiento de los niveles vitales susceptibles de evolucionar en función de las variables del medio. Comienzan así a emerger los recursos científicos y tecnológicos determinantes en la gestión de los sistemas, en particular para la producción de energías renovables, su almacenaje y su distribución.

Con la lógica natural que impera en todos los sistemas de la biosfera, los edificios eficientes tienen un comportamiento variable, almacenan y dosifican los recursos que están a su alcance adquieren datos sobre los efectos que su interacción con el entorno genera y transforman esos datos en información que alimenta la componente táctica, subconsciente, de sus procesos de autorregulación, el cambio programado, y la componente estratégica, consciente, de sus procesos de reequilibrio, la adecuación a los escenarios de eficiencia.

En este contexto el edificio eficiente es un recurso para la gestión de un proceso permanente de desequilibrio y reequilibrio dinámico, sobre un medio fluido. Avanzamos hacia la eficiencia por la vía de la gestión de la reactividad y del comportamiento variable de sistemas complejos cuya eficiencia se resuelve en la interacción cibernética entre el hombre-usuario, y la máquina-edificio.



Figura 5.1. Nuestra sociedad está cambiando de actitud: ya no se sustenta sólo sobre relaciones de fuerza, sino en relaciones de flujo. Se impone una nueva actitud que no es la de la confrontación al medio sino la de la solidaridad con el medio. Pasar de la sinrazón de la producción sin fin, a la lógica natural de la gestión y el equilibrio, “surfear” los flujos de recursos es la única manera de sobrevivir a la complejidad y la aceleración del mundo moderno. La Arquitectura eficiente no puede ser un medio ajeno a la naturaleza fluida de un entorno complejo. Fuente: www.store.magicseaweed.com.

Además de tener una idea clara del medio en el que nos movemos y de la naturaleza de la tarea a la que nos enfrentamos cuando queremos capacitar para la eficiencia a un edificio, y por las mismas razones que el surfista necesita su tabla, quienes queremos resolver la eficiencia de la edificación necesitamos tener instrumentos para gestionar y cabalgar los flujos de información y energía que cruzan nuestros edificios, evitando actitudes ineficientes en los dos extremos de la relación con el medio: aislarse generando tensiones inútiles o exponerse sin control.

De hecho la capacidad de contextualizar la Arquitectura parte de integrar las capacidades de aislamiento y las de exposición a los flujos de agua, energía, radiación, luz, sonido, aire, etc., información, en una sola capacidad variable: la de intercambiar. Porque de intercambio se trata en cualquier medio vivo expuesto a condiciones variables.



Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

Los edificios eficientes tienen capacidad variable de intercambio y, además de tener una Arquitectura adecuada al espacio que ocupan tienen un comportamiento adecuado en el tiempo a los flujos variables de los que extraen los recursos que potencian sus prestaciones y minimizan su impacto sobre el medio, sobre la salud, sobre la destrucción de recursos y sobre el ecosistema.

Los flujos, en Arquitectura, provienen de todas las dimensiones del entorno y de todos sus componentes, varían con la escala y con el tiempo, su identificación y caracterización es el punto de partida de la toma de decisiones sobre la configuración material y física de los edificios eficientes, y el conocimiento sobre su fluctuación es el punto de partida para diseñar el comportamiento variable de los edificios eficientes.

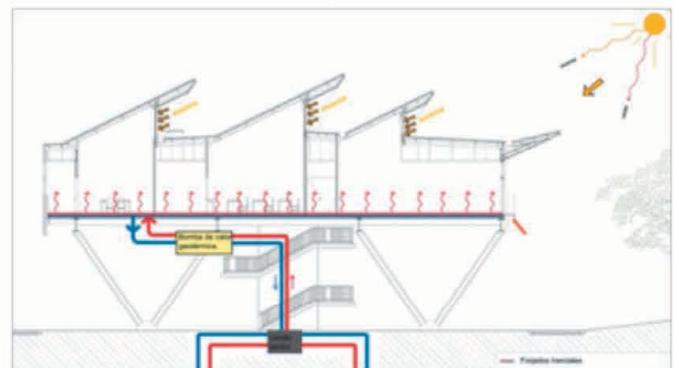
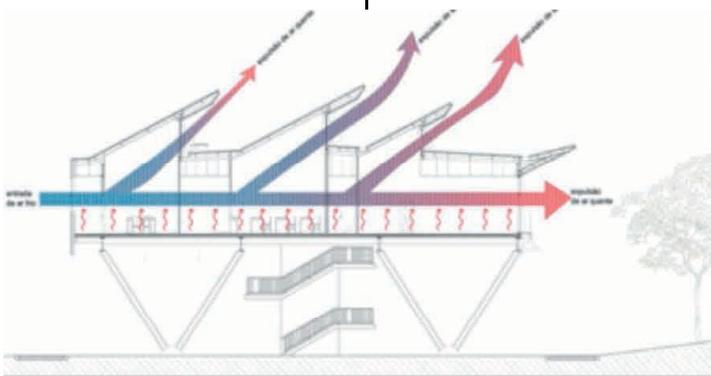


Figura 5.2. El contexto de la eficiencia: bajo coste y alto rendimiento, en la aplicación de sistemas termoactivos, es el edificio de bajo impacto y bajo consumo. Cuando se ponen en juego una arquitectura de baja demanda y la integración del intercambio geotérmico y los sistemas de climatización termoactivos, estos contribuyen de manera a incrementar la eficiencia integral y proyectada en el tiempo. Centro Empresarial en Oliveira de Azemeis. Portugal. Joaquim Morais. Arquitecto Concepto energético ENERES. Fuente: ENERES.

Concretemos estas ideas sobre la Arquitectura. En un ejercicio analítico, esquemizamos el sistema edificado siguiendo el flujo de la energía a través de sus distintos componentes, artificialmente desagregados. La lectura directa de este esquema, de izquierda a derecha, parte de la generación, de la alimentación inducida del sistema con energía, agua y aire, y vamos viendo como en cada paso de la transformación de los recursos se produce un inevitable residuo entrópico, que determina la eficiencia final del sistema. La vía de la eficiencia en la alimentación de recursos es la de la mejora tecnológica, la del rendimiento en la generación y la transformación de los recursos.

La lectura inversa del esquema, de izquierda a derecha, ilustra la lógica de la edificación respecto al medio y comienza considerando el papel esencial que, respecto a la reducción del impacto y el consumo, y al incremento del bienestar y la habitabilidad, es decir respecto al incremento gestionado de la eficiencia, tienen los componentes gestores del bioclimatismo, poniendo en juego el intercambio de recursos con el medio, los que transforman, almacenan y transfieren la energía al medio, poniendo en juego la recuperación de la energía residual, y los medios de aporte de energía primaria, a los que se incorporan los recursos renovables y recuperados, procedentes de las fases anteriores.

Ambas lecturas son válidas y compatibles, y en un edificio eficiente las posibilidades de mejora de la eficiencia a través de la reducción de la demanda están integradas con las que resultan de la mejora tecnológica, de la misma manera que lo simple coexiste con lo complejo, en un único sistema donde datos, información, programas y estrategias orientan el control, la operación y el mantenimiento para la eficiencia, sostenida en el tiempo, de la Arquitectura.



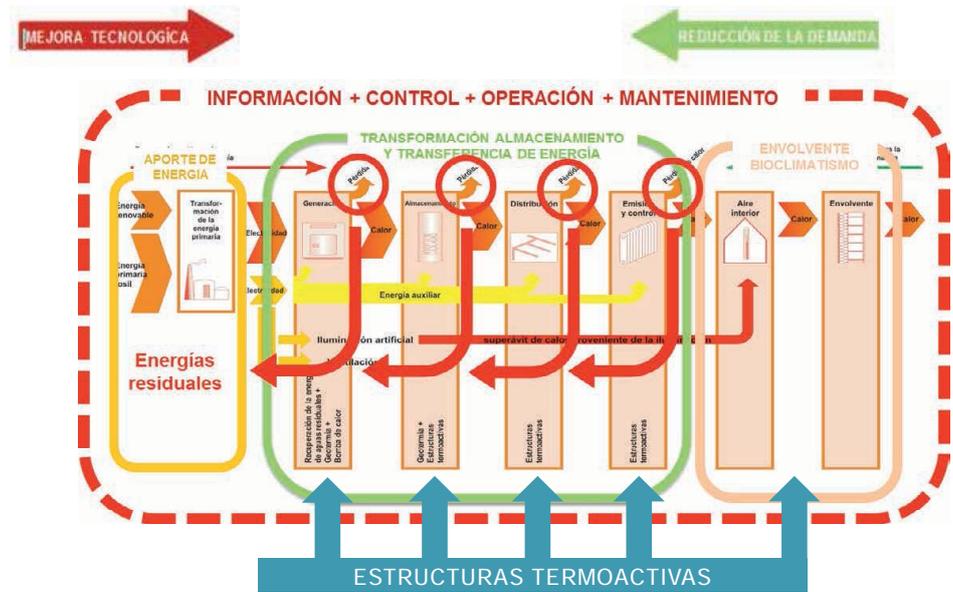


Figura 5.3. Esquema del edificio como sistema de transformación de los recursos energéticos. Las estructuras termoactivas juegan un papel relevante como parte de la envoltura, sistema de climatización, distribución de energía, almacenamiento, y generación de calor. Especialmente importante en la mejora de la eficiencia por reducción de la demanda, y también por mejora tecnológica. Fuente: ENERES.

Este es el contexto de la utilización para la eficiencia de las estructuras de los edificios que están en contacto: 1, con el medio habitado, losas, forjados, muros, vigas, para intercambiar energía, absorbiendo calor del aire y de los usuarios para refrigerar o cediendo calor al aire y a los usuarios, para calefactar; y 2, de las estructuras que están en contacto con el terreno, losas, muros, pilotes, que actúan como intercambiadores de calor geotérmicos, y lo utilizan como medio de extracción y almacenamiento de energía.

Edificios donde se obtiene un elevado confort interior evitando costosas inversiones en equipamiento, y esto es posible mediante una adecuada combinación de medidas y estrategias, cuidadosamente combinadas, con los siguientes elementos básicos: muy buen aislamiento y control solar, capacidad de almacenamiento térmico en el edificio, y estanqueidad en la envoltura, vinculada a la ventilación, y a una renovación del aire orientada a la salubridad y a la recuperación de energía. La utilización de recursos de refrigeración pasiva en verano, abandonando el enfriamiento activo, sólo es posible si los edificios son cuidadosamente concebidos para que el diseño estructural, las necesidades de los ocupantes y el equipamiento técnico formen parte de un sistema integrado de gestión de la energía.

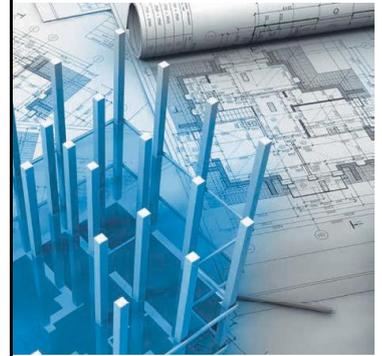
5.2. FUNDAMENTOS

Se trata de hacer edificios que empleen soluciones sostenibles y eficientes caracterizadas por una reducción considerable de la demanda y con instalaciones y equipos de reducidas dimensiones y bajos costes operativos, en calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación y mantenimiento. Edificios que en las condiciones de un entorno cambiante aseguren el confort, térmico, higiénico y visual. La refrigeración y la calefacción de los edificios se resuelven con recursos térmicos almacenados e intercambiados con el terreno o el agua subterránea y con el aire exterior, algo que tiene un gran interés tanto en términos energéticos como económicos.

La eficiencia termodinámica del agua y el aire como mecanismos para la captura y canalización de la energía trasciende los factores fisiológicos y operacionales. Porque al ser el agua 832 veces más densa que el aire, los sistemas hidrónicos requieren una fracción del volumen que ocupan los sistemas térmicos basados en el aire. Gracias a la densidad del agua la energía consumida en bombear agua en un sistema hidrónico es menos que la consumida por los ventiladores que mueven la misma cantidad de energía a través de sistemas de aire forzado. No sólo se recupera espacio, se gana en flexibilidad y se minimizan los problemas de coordinación y uso del espacio por parte de los sistemas y redes de instalaciones. En muchas ocasiones estos ahorros de espacio resultan en el aumento de la superficie útil de los edificios, reducir el volumen al integrar los sistemas de clima en las losas, reducir el peso y cantidad de materiales y las cargas estructurales.

Las estructuras y superficies termoactivas pueden ser cada vez una respuesta más lógica para la técnica contemporánea, si se consideran los problemas asociados a la calidad del aire interior y el síndrome del edificio enfermo que es una plaga inherente a edificios con sistemas colectivos de aire acondicionado deficientemente concebidos y calculados.

Mientras los sistemas tradicionales de Aire acondicionado absorben un tercio y a veces hasta la mitad del presupuesto de construcción o rehabilitación de un edificio, para algunas tipologías, los sistemas termoactivos redirigen los recursos económicos, el tiempo, la coordinación y el trabajo lejos de del ineficiente paradigma del aire acondicionado y reinvierte esos recursos del presupuesto, for-





Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

males e intelectuales, en la activación térmica del propio edificio, lo que le imbuye de un papel activo en la relación con el entorno y el usuario.

Las estructuras termoactivas, también denominadas TABS (*Thermally Activated Building Structures*), y las cimentaciones termoactivas, están vinculadas e integran la construcción y la envolvente de los edificios, son medios de intercambio de calor, en la climatización, constituyen parte importante de las redes de transporte de energía, son, y esta es una característica importantísima para la capacidad de gestión que permite la eficiencia, recursos inerciales de almacenamiento de calor con capacidad de transferencia en periodos cortos, diarios, o largos, estacionales. Asociadas a recursos técnicos para la absorción cíclica y reversible de calor, bombas de calor, las estructuras termoactivas son un recurso de generación de calor y frío a partir de energía térmica intercambiada con el medio y permiten reducir significativamente el consumo de energía primaria, electricidad o gas.

La clave de su utilidad es la integración, en todos estos aspectos, en los edificios. El factor que de entrada las hace eficientes es que se perfeccionan al activar el potencial térmico de elementos inerciales que ya existen, y que, concebidos con naturaleza estructural pueden además realizar una importante función termodinámica. Para ello se dota a los elementos estructurales en contacto con el terreno de circuitos cerrados, sin afección térmica o mecánica a la capacidad estructural de muros, pantallas o pilotes, por los que circula un fluido que cede o absorbe calor a un terreno respectivamente más frío o caliente, y lo transporta hasta un intercambiador donde este calor absorbido y transportado se transfiere al agua que circula por otros circuitos que, embebidos en las estructuras que están en contacto con espacios habitados, forjados, losas, muros o vigas, transfieren el calor a un medio y a unos usuarios más fríos o absorbe calor de un medio y unos usuarios más calientes.

La interacción entre los sistemas termoactivos geotérmicos y los sistemas termoactivos para la climatización se da dentro de la estructura del edificio, es por tanto un proceso distribuido de generación y uso eficiente de energía térmica, en el que la mayor parte del proceso de obtención y el uso del recurso energético se produce en el propio edificio. Trabajamos con la técnica de intercambiar calor estacionalmente entre el edificio y el terreno o entre el terreno y el

edificio, transfiriendo calor de un ámbito al otro mediante el intercambio entre circuitos por los que circula el agua que porta el calor. El diseño de los sistemas termoactivos se orienta hacia el equilibrio en el intercambio, a reducir las pérdidas en la transferencia de la energía captada y almacenada, y a que la energía se transfiera del medio exterior al interior y viceversa con el menor consumo de energía primaria.

La naturaleza de este intercambio de energía es la de la baja presión, la baja velocidad, la baja intensidad y la temperatura moderada, y esto permite incorporar al sistema la energía procedente de muchas de las fuentes renovables del medio natural, y energías residuales de los sistemas antrópicos, que tienen esta misma naturaleza moderada. Los recursos que proceden de la recuperación de calor en el agua residual, los gases y el aire, los de los sistemas urbanos que expulsan calor, los de las fuentes renovables solares, los del intercambio nocturno con el aire exterior, se almacenan en el terreno y se transfieren estacionalmente a los ocupantes y usuarios de los edificios a través de sus estructuras, preferentemente de los elementos horizontales, que están en contacto con los usuarios en todo el espacio habitable.

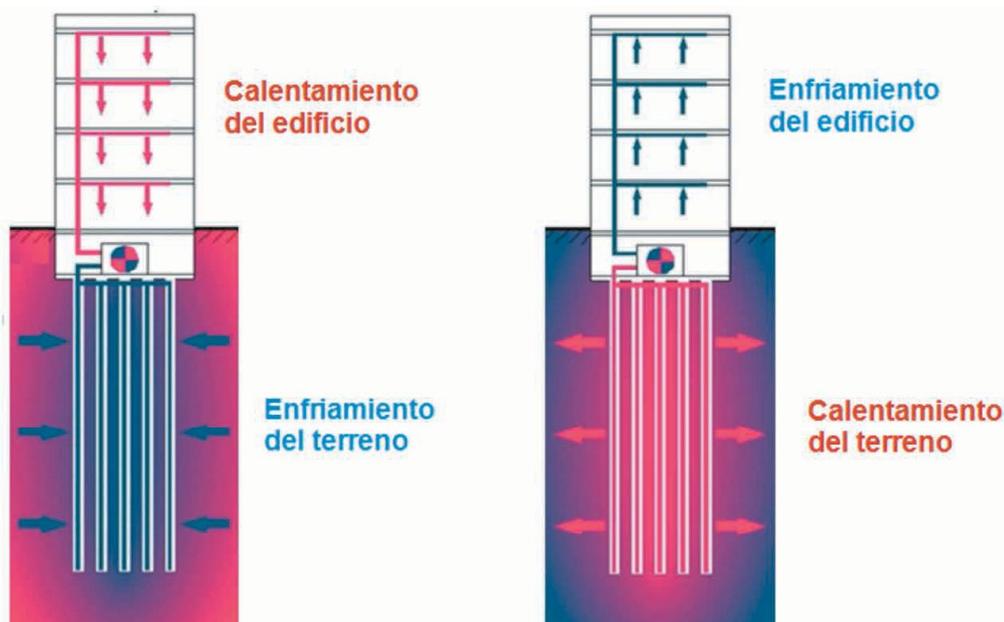
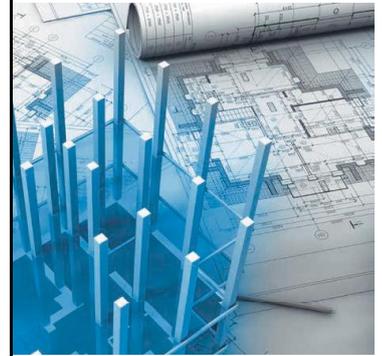


Figura 5.4. Principio básico de intercambio entre el medio interior del edificio y el terreno a través de estructuras termoactivas.

Este intercambio entre el terreno y el edificio sigue un ritmo estacional equilibrado que se ajusta con precisión a la cobertura de la demanda en cada momento en virtud de la utilización de un recurso





de ajuste, interpuesto en el flujo de calor entre un medio y el otro. La bomba de calor geotérmica, un sencillo dispositivo de intercambio entre los dos circuitos de agua que permite realizar los ajustes de temperatura que cada día, a lo largo de cada estación y de cada año, precise el agua que porta el calor hacia o desde el interior del edificio.

La bomba de calor trabaja en rangos de temperatura de intercambio pequeños, el terreno y las estructuras del edificio están a temperaturas próximas, y los ajustes de la bomba son moderados, condición que permite obtener un alto rendimiento con un bajo consumo en el intercambio.

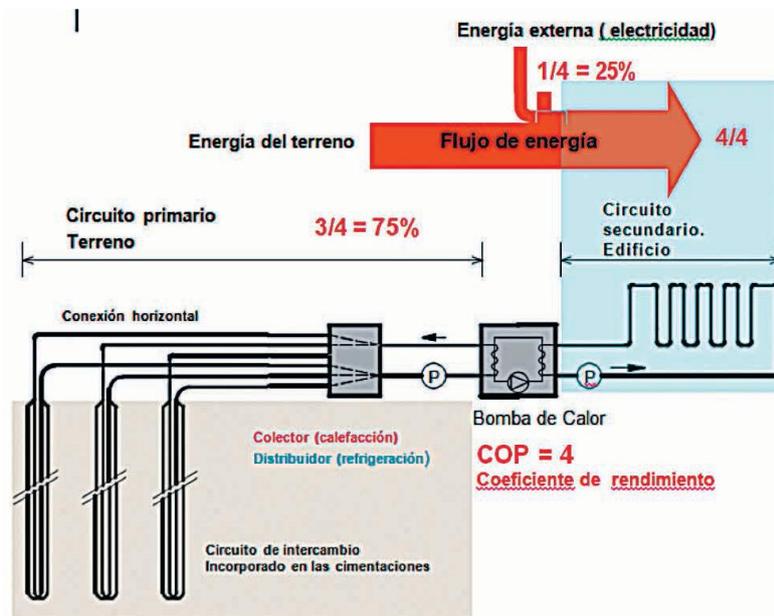


Figura 5.5. Esquema de un sistema geotérmico de intercambio con cimentaciones termoactivas y estructuras termoactivas, bomba de calor geotérmica para el intercambio y el ajuste de las temperaturas y un flujo de energía térmica que es extraída en un 75% del terreno y en un 25% procede de la electricidad consumida por la bomba de calor. Coeficiente de rendimiento del sistema, COP = 4. Fuente: Heinz Brandl.

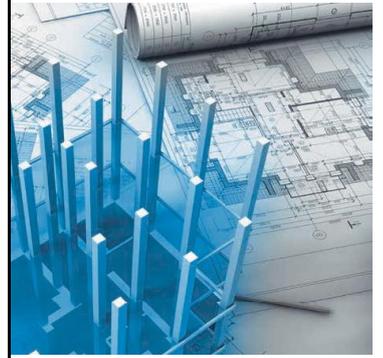
La clave del diseño del sistema es el equilibrio en el comportamiento de los dos medios a lo largo del ciclo climático y a lo largo de los años, en los ciclos de extracción de energía del edificio y carga del terreno, almacenamiento en el terreno y descarga del terreno para inyectar energía al edificio.

Fase de Carga: las estructuras, a menudo las losas, del edificio están cargadas de energía para la calefacción o refrigeración a través del agua caliente o fría que circula a través de los intercambiadores

de calor integrados en estos elementos constructivos. Al fluir el agua a través del sistema de tubos transfiere la capacidad de refrigerar o calefactar a la losa, en función de la temperatura del agua. Este proceso puede ser controlado activamente variando la temperatura del agua, el caudal del flujo de agua y el tiempo de intercambio. Gracias a la inercia del sistema, el reto es almacenar suficiente energía en las losas para satisfacer la demanda del día siguiente. De hecho, como puede haber fluctuación en la demanda prevista para el día siguiente, el sistema debe operar mediante la gestión de las reservas de energía en las losas, para evitar los desfases térmicos y los posibles sobre calentamientos y sobre enfriamientos de las habitaciones.

Almacenamiento: Como todos los sistemas de almacenamiento térmico, las losas termoactivas salvan el desfase temporal entre la disponibilidad de energía y la demanda de energía. El exceso de calor diurno, procedente de la exposición solar o del calor de las personas y equipos (cargas internas) se transforma inmediatamente en recursos almacenados en las losas y hace que la temperatura de la masa del edificio se eleve. Al hacerlo también se eleva la temperatura operativa de la habitación, aunque moderada por la masa inercial. Por ejemplo, el calentamiento o enfriamiento en 2 °C de una losa de 14 cm de hormigón, supone el almacenamiento de 190 Wh/m² de calor o frío y, por ejemplo, una capacidad de intercambio de 25 W/m², disponible durante 8 horas.

Fase de descarga: la climatización termoactiva se realiza en virtud de dos efectos que se producen en paralelo: el 60% del calor almacenado en la masa de hormigón se transfiere por radiación en la habitación y el 40% por convección. Gracias a la considerable inercia del sistema la descarga se produce de un modo pasivo y parcialmente activo en la interacción radiante entre las losas y los usuarios.



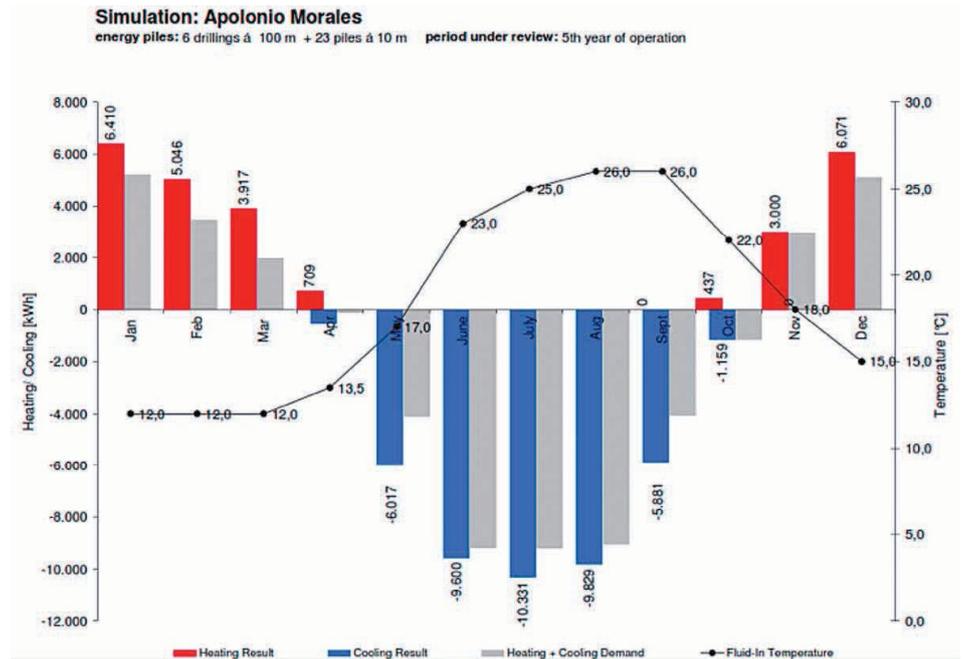


Figura 5.6. La gráfica de cobertura de la demanda anual de energía para la calefacción y refrigeración es también un diagrama que ilustra el flujo variable de energía entre el edificio y el terreno. La diferencia entre las puntas de calefacción y refrigeración se cubren con el almacenamiento en el terreno de otros recursos renovables para enfriar o calentar, que proceden en este caso de un flujo constante de agua subterránea que potencia la capacidad de refrigerar. Fuente: ENERES.

Ya unos cuantos metros bajo la superficie del suelo encontramos durante todo el año aproximadamente la misma temperatura (sobre los 15 grados centígrados en Madrid). Los elementos de hormigón que entran en contacto con el suelo en una construcción (cimientos, muros de contención, muros pantalla, pilotes), se pueden dotar de tubos de material sintético que, tras unirse para formar un circuito, se conectan al sistema termoactivo de refrigeración y calefacción del edificio.

Por ellos circula el líquido portador de energía (agua, con o sin refrigerante), capaz de absorber, ceder y transportar el calor, tanto en procesos de refrigeración como de calefacción.

Cuando se trata de activar la calefacción, la bomba geotérmica ajusta la temperatura del agua y produce el nivel deseado. En el caso de la refrigeración bombas térmicas reversibles o máquinas frigoríficas se ocupan de producir el nivel de temperatura oportuno para refrescar el ambiente.

El calor que se genera durante estos dos procesos se puede acumular para emplearse en la calefacción, en otro periodo, y a su vez, el frío que se produce al generar calor con la bomba térmica se puede acumular en el suelo y aprovecharse para la refrigeración.



5.2.1. Consumo

Cuando la bomba térmica consume 1 kW de corriente, se ganan de tres a cuatro kW de energía calorífica para la calefacción. Si, además, la energía eléctrica proviene de una planta hidroeléctrica, el impacto ambiental es prácticamente nulo. Los sistemas termoactivos están ampliamente acreditados y las economías y ahorros que permiten se han demostrado en decenas de edificios sin dejar lugar a dudas.

5.2.2. Free Cooling

Durante algunos periodos intermedios, primavera y otoño, las temperaturas del terreno pasan por una fase muy próxima a las temperaturas de servicio del agua en las losas del edificio. En estas épocas se puede dar la posibilidad de refrigeración por *free cooling*, a muy bajo costo, el líquido frío de absorción que se encuentra en los cimientos se aprovecha en el sistema de refrigeración del edificio después de trasvasarlo mediante el uso de la bomba. El consumo es mínimo dado que el salto térmico necesario es mínimo. Con 1 kW de energía consumida en la bomba se pueden obtener hasta cincuenta kW de potencia frigorífica. Si el sistema termoactivo se utiliza también para la calefacción, el efecto del *free cooling* se multiplica.

CICLO ESTACIONAL DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN / CICLO ESTACIONAL DE ALMACENAMIENTO DE CALOR

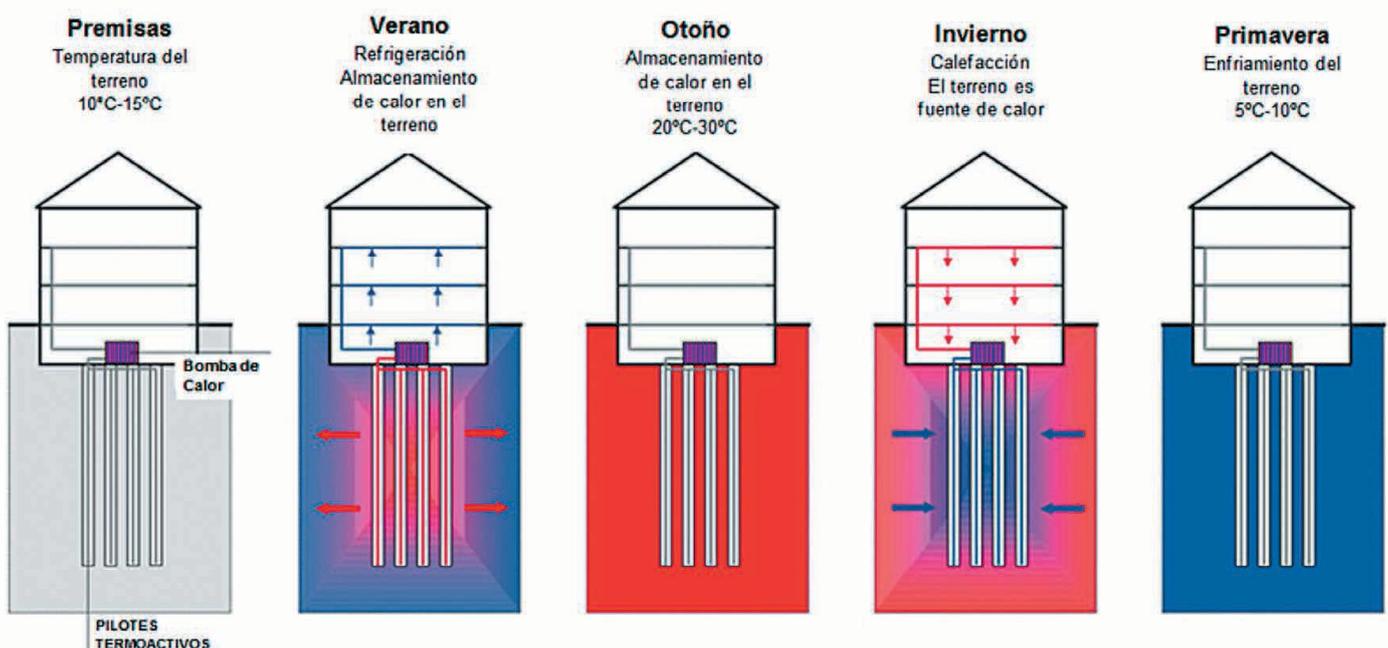


Figura 5.7. Esquemas y vista del funcionamiento estacional e interestacional del sistema de intercambio y climatización termoactivo.



5.2.3. Diseño

Para emplear la tecnología de intercambio termoactivo se requiere integrarla en un diseño sistémico que trasciende los aspectos de la técnica para calefactar o la de enfriamiento. Su aplicación adecuada precisa particularmente conocer en detalle las condiciones generales de la mecánica del suelo, la hidrología, las cimentaciones y estructuras que vamos a utilizar, el régimen de uso del edificio, y la distribución pormenorizada en el tiempo de la demanda de energía.

Para el mejor aprovechamiento posible de la energía geotérmica y de su potencial, se debe realizar una simulación tridimensional de las condiciones dinámicas y valorarla adecuadamente no sólo mediante el cálculo, sino a la luz de la experiencia en cada caso.

5.2.4. Ejecución

Por motivos de responsabilidad, las instalaciones de termoactivas deben ponerse siempre en manos de empresas experimentadas. Son múltiples las fuentes de posibles errores que pueden conducir a un funcionamiento defectuoso de la instalación.

Para supervisar permanentemente el montaje se deben realizar las pruebas de estanqueidad oportunas.

Si se desea evitar inconvenientes, es aconsejable planificar con exactitud la agenda de ejecución con las otras empresas que participan en la obra.

5.3. EL ALMACENAMIENTO DE CALOR EN EL TERRENO. INTERCAMBIO Y ALMACENAMIENTO DE CALOR Y ENFRIAMIENTO GEOTÉRMICOS MEDIANTE CIMENTACIONES TERMOACTIVAS

La capacidad del terreno para acumular energía en volúmenes discretos y confinados de manera natural lo convierte en un importante y poderoso recurso para la gestión de todo tipo de energías del medio, y éste es uno de los principales mecanismos de reducción de la demanda en los edificios eficientes.

El terreno es un recurso de almacenamiento a disposición de todos y en todas las ubicaciones. Especialmente adecuado a los múltiples recursos energéticos de moderada intensidad que deben ser recuperados y consumidos localmente, en modo distribuido, pues no soportan el transporte ni la centralización. La transformación de estos recursos térmicos en los edificios para ser fuente de refrigeración o calefacción está también al alcance de todos. La interacción con recursos de almacenamiento inerciales, que ya están en la naturaleza, la forma y la construcción de los edificios, permite implementar estrategias de eficiencia que retoman en parte el sentido común de las tradiciones vernáculas y en parte responden a las posibilidades que ofrecen nuevos materiales, técnicas y tecnologías.

El rendimiento del almacenamiento de frío y calor a baja temperatura es alto. Para inducir al terreno a temperaturas entre 5 °C y 30 °C es, durante un periodo interestacional, del 70% al 90%. Si se almacena calor a más alta temperatura, el rendimiento del almacenamiento baja a medida que la temperatura sube, pues la capacidad de agitación molecular de un terreno natural medio resuelve el almacenaje de energía en rangos equilibrados de tipo medio. Es un rasgo de la naturaleza, el trabajar en equilibrio y eficiencia en rangos moderados de potencia, presión, velocidad, caudal, y temperatura, que nos debe hacer reflexionar en el diseño de los sistemas energéticos de nuestros edificios.

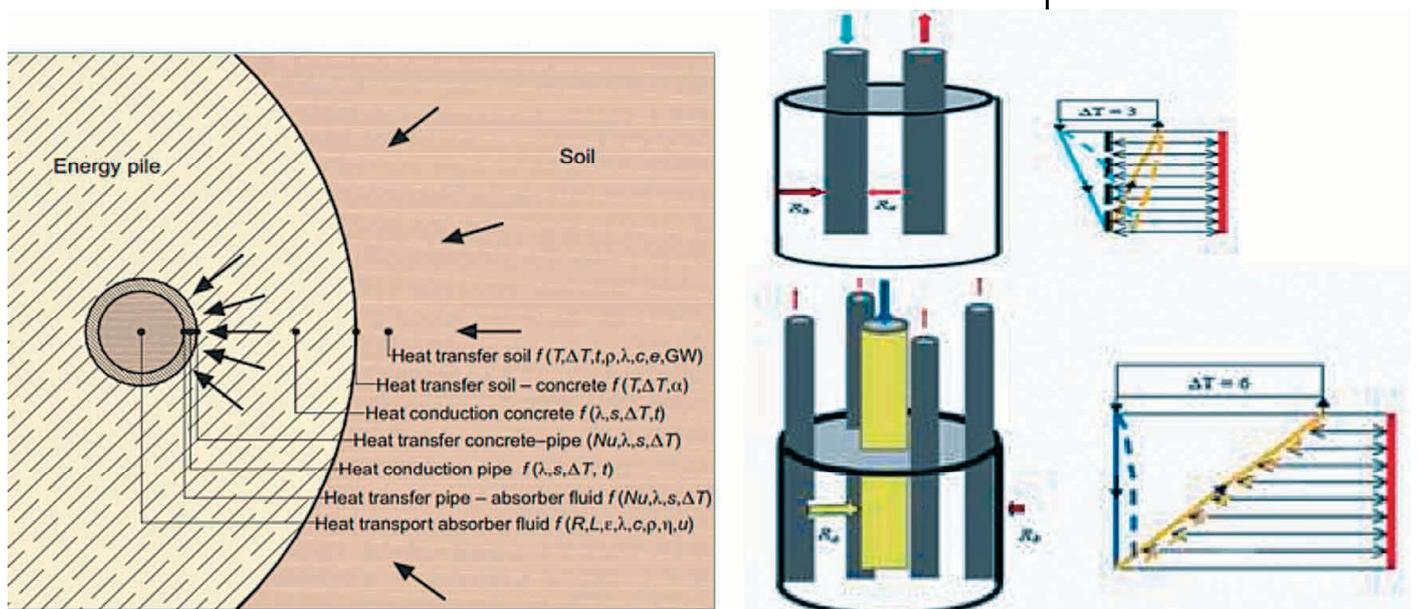


Figura 5.8. El mecanismo de transferencia de calor entre el terreno y las cimentaciones termoactivas es esencialmente conductivo, si bien las características del terreno pueden hacer variar el grado de transferencia por conducción, la transferencia por convección y radiación es muy baja dentro del terreno.



Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

La temperatura de almacenamiento con cimentaciones termoactivas tiene los siguientes rangos:

- Baja temperatura 5 °C – 30 °C
- Media temperatura 30 °C – 50 °C

El almacenamiento de energía térmica será clave para mejorar el aprovechamiento del calor residual de los edificios y el procedente de fuentes renovables de producción de frío y calor. Las fuentes de calor naturales y las residuales antrópicas generan en el entorno de los edificios enormes cantidades de energía térmica que puede ser incorporada al sistema como recursos primarios. Para ello basta con tener instrumentos para captar, almacenar y reutilizar este calor a temperatura moderada y baja intensidad, que con frecuencia se desperdicia.

Para evitar el desajuste estacional entre demanda y suministro, el almacenamiento subterráneo de energía térmica a través de cimentaciones termoactivas es una técnica muy efectiva. Hay innumerables sistemas en funcionamiento en Europa en aplicaciones de baja temperatura, entre 5 °C y 25 °C para el almacenamiento de calor o el enfriamiento del terreno para la refrigeración estival.

El subsuelo puede ser utilizado para almacenar temporalmente calor, o, enfriado, para absorberlo. Éste posee una alta capacidad calorífica y, también, unas buenas propiedades de aislamiento térmico lo que ofrece la posibilidad de almacenar grandes cantidades de calor y frío durante un largo periodo de tiempo, por ejemplo, un periodo interestacional completo.

El Almacenamiento subterráneo de energía crea un gran espectro de posibilidades de ahorro energético y aplicación de recursos energéticos renovables, como el almacenamiento de calor procedente de la energía solar en verano para su uso posterior en invierno para calefacción, o el enfriamiento del terreno aprovechando el desfase térmico en el aire exterior entre invierno y verano, o el salto térmico que supone el enfriamiento del aire entre el día y la noche.

Mediante los sistemas de cimentaciones termoactivas se realiza un almacenamiento estacional de frío y de calor. El intercambio de ener-

gía térmica puede producirse con el subsuelo o bien con algún acuífero próximo a la superficie. Por el contrario la existencia de flujos de agua o de accidentes geológicos puede transformar al sistema de intercambio en un disipador de energía, algo que en muchas circunstancias puede tener interés.

El comportamiento del terreno ante inducción térmica que realizan los intercambiadores es el de un auténtico acumulador inercial en el que el calor queda confinado en un volumen finito que, en términos generales no excede un radio de 6 metros desde el centro del intercambiador. El intercambio de calor con el edificio crea ciclos de carga y descarga del terreno que coinciden con la demanda estacional de calor y frío para la climatización.

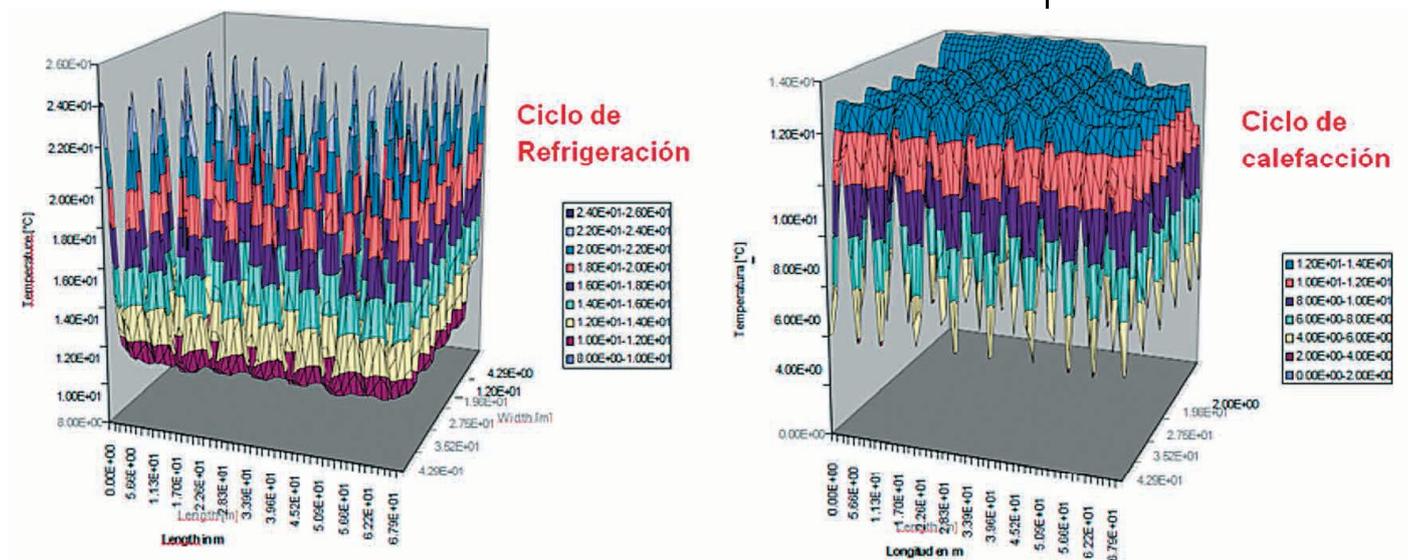
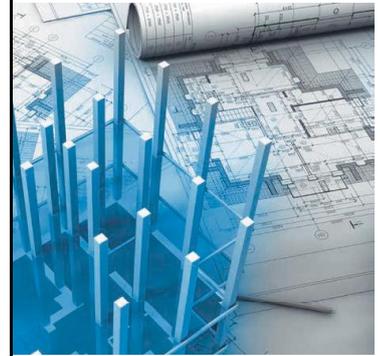


Figura 5.9. Gráfica tridimensional que representa el campo de temperaturas generadas por un grupo de pilotes termoactivos sobre el terreno en el intercambio térmico con un edificio. El terreno como intercambiador confinado soporta oscilaciones térmicas de hasta 30 °C con excelente rendimiento. Fuente ENERES/ENERCRET.

5.3.1. Cimentaciones termoactivas

La posibilidad de aprovechar el potencial energético del subsuelo a través de elementos de cimentación depende de las dimensiones y el tipo de cimientos. Éstos obedecen a su vez a las condiciones del suelo y las exigencias estructurales del edificio que se construye. Cuando se utilizan como fundamento pilotes ejecutados in-situ o muros pantalla subterráneos, desde el punto de vista de la construcción ya están dadas las condiciones necesarias para un aprovechamiento efectivo



de la geotermia: estos elementos por lo general se sumergen hasta niveles en que pueden activar un gran volumen de tierra para el intercambio de energía. Se ofrecen otras posibilidades en zanjas de cimentación, soleras, colectores, etc.

En los pilotes u otros elementos de cimentación se introducen tubos de material sintético, por lo común circuitos estancos y sellados de tubo de polietileno. Por estos tubos circula en circuito cerrado el líquido de absorción que transporta la energía a la central térmica del edificio. Dependiendo de las condiciones, este líquido puede ser agua con aditivos anticongelantes. El sistema de tuberías se integra en las jaulas de las armaduras, ya sea a pie de obra o en los talleres del fabricante.

Las armaduras dotadas de tuberías se colocan entonces en el sitio que indique el especialista en estructuras y se rellenan con hormigón.

A continuación, los circuitos de tuberías de las cimentaciones termoactivas se conectan al distribuidor mediante conductos horizontales de interconexión. Estos conductos se instalan en su mayor parte bajo la solera y en las paredes exteriores del edificio que tienen contacto con el terreno.



Figura 5.10. Red de tubos colectores horizontales que conectan los circuitos embebidos en las cimentaciones termoactivas con el colector general de la instalación. Fuente: ENERES/ENERCRET.

Por lo general estos trabajos se realizan por fases, ya que las paredes de la planta baja deben estar listas para el montaje de los conductos de unión. El espacio destinado al distribuidor general debe encontrarse por encima del nivel freático y, de ser posible,

ubicado cerca de la sala técnica. El distribuidor consiste en un colector de flujo y reflujo, al que se conectan los circuitos de tuberías.

Durante la ejecución de todos los trabajos los circuitos de tuberías se someten a una presión de 7-8 bar para que sea posible controlar constantemente su estanqueidad. Antes y después de aplicar el hormigón se controlan las presiones y se registran en protocolo.

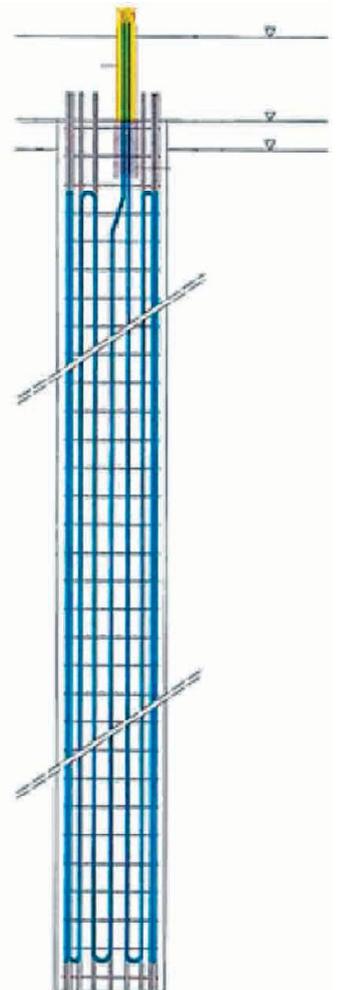
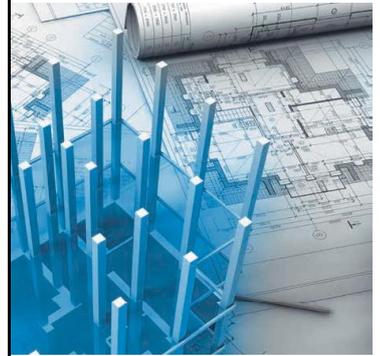


Figura 11. Pilotes termoactivos ejecutados in situ. Los pilotes se dotan de varios bucles de tubería de polietileno en circuito cerrado, atados a la armadura estructural, que se introduce en la perforación del terreno antes de rellenarla con hormigón. En el caso de terrenos inestables la perforación se rellena de hormigón para estabilizarla y la armadura y los circuitos se hincan posteriormente. La realización de este proceso requiere de una cuidadosa ejecución y también de la correcta disposición de los tubos, con radios de giro y fijaciones adecuadas. La selección del tipo de tubo, entre los muchos que hoy ofrece la industria, también está orientada a las solicitaciones y esfuerzos que supone el proceso de puesta en obra. Fuente: ENERES/ENERCRET.



Figura 5.12. Ejecución de una pantalla termoactiva y de una solera termoactiva en las obras de ampliación del metro de la ciudad de Viena, Austria. Los rendimientos de estos elementos dependen de su superficie de intercambio con el terreno. Así, en términos generales, los pilotes tienen la misma capacidad que un muro pantalla a dos caras, un muro a una cara o una pantalla de pilotes tienen una capacidad de intercambio menor y una solera o losa con una sola cara en contacto con el terreno, aún menor. Fuente: ENERES/ENERCRET.

En muchos casos se utilizan pilotes intercambiadores de energía prefabricados especialmente cuando se trata de pilotes de fricción y/o para edificaciones menores. La prefabricación de pilotes termoactivos de hormigón es muy común en zonas de Europa donde se hacen mejora de la capacidad portante del terreno con hincas de pilotes prefabricados.

Este tipo de pilotes se emplea generalmente por sus ventajas económicas y de rapidez de ejecución. El sistema de absorción, compuesto por tubos apropiados de PEX se integra en los pilotes en nuestros talleres para elementos prefabricados.

Después de hincar los pilotes ya sólo se precisa retirar el suplemento de icopor para conectar el pilote a la línea de interconexión. Estos pilotes transmisores de energía miden en sección transversal de 30/30 a 40/40 cm y alcanzan hasta 14 metros de longitud.

Los pilotes prefabricados pueden llegar a alcanzar hasta 28 metros de longitud gracias a un nuevo sistema de unión, de montaje rápido e idóneo para las obras de construcción.

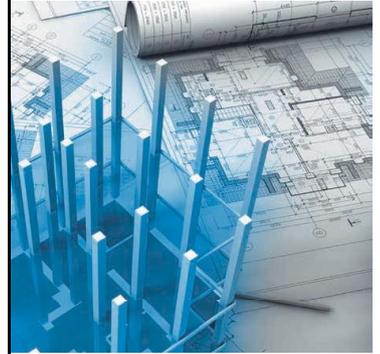


Figura 5.13. Fabricación de pilotes termoactivos en la planta de la empresa que desarrolló esta técnica orientada a la consolidación, mejora e intercambio de energía en terrenos inconsistentes e inundados como son los de la región del Voralberg donde se encuentra NAGELEBAU/ENERCRET, en Rothis. Austria.
Fuente NAGELEBAU/ENERCRET/ENERES.

5.3.2. Calefacción, refrigeración/freecooling

Gracias al posterior desarrollo de esta tecnología, que originalmente servía tan sólo para la calefacción de edificios mediante una bomba de calor geotérmica, ahora también se puede aplicar en la refrigeración.

Con la bomba de calor geotérmica se puede extraer calor del subsuelo y transmitirlo a través de los elementos constructivos de cimentación al circuito primario. Este calor se eleva a un mayor nivel de temperatura, apropiado para la calefacción. Mientras en los fundamentos de hormigón predomina una temperatura media de 13 °C, la bomba térmica genera temperaturas medias de 25 a 35 °C, que son suficientes para la calefacción por radiación de techo o por componentes de la construcción.

La manera de funcionar de una bomba de calor geotérmica utiliza un principio inverso al de un frigorífico, es decir, el calor se recoge en el evaporador y se transmite de nuevo en el condensador con una temperatura más alta. El objetivo principal es, por supuesto, la absorción y ganancia de calor.

El creciente aumento en el uso de aparatos eléctricos en las oficinas, las extensas superficies de vidrio en las fachadas y el perfeccionamiento del aislamiento térmico de los edificios permiten prever en el futuro un empleo cada vez mayor del aire acondicionado. Y con este aumento será también cada vez más importante el acoplamiento al suelo de la masa del edificio.



Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

Cuando no baste la refrigeración del subsuelo, se pueden integrar en el sistema una máquina frigorífica o una bomba térmica reversible.

Y si el sistema de obtención y aprovechamiento de energía se utiliza tanto para la calefacción como para el aire acondicionado del edificio, los costes de inversión y los costes operativos se reducen notablemente, ya que la refrigeración de origen terrestre casi no supone gasto alguno. El potencial energético se eleva debido a que la calefacción con bomba térmica enfría el suelo.

Los sistemas reguladores de temperatura por núcleo de hormigón permiten economizar costes de inversión, y sus cualidades en la absorción de radiación ofrecen un gran confort al usuario, ya que no se producen las corrientes de aire frecuentes en las instalaciones convencionales de climatización. Gracias a su capacidad de acumulación de calor permiten temperaturas muy uniformes, incluso cuando se intensifica la carga temporalmente. Una ventaja adicional es el margen de maniobra que ofrecen tanto al arquitecto como al usuario en la configuración de espacios.

Propiedad industrial. El libre derecho al uso de una técnica consolidada.

Los desarrollos tecnológicos asociados al uso de las cimentaciones termoactivas fueron protegidos mediante patentes, en diversos países europeos, en los años 80. A partir del año 2003 el profesor Heinz Brandl, de la Universidad Técnica de Viena, TÜV, recoge el conocimiento y las experiencias generadas por NAGELEBAU/ENERCRET, la más avanzada y puntera empresa del sector y la incluye en sus publicaciones científicas con la descripción de todos los tipos de cimentaciones termoactivas. Más de 20 años después, vencidas las patentes, estas invenciones pertenecen al estado del arte y son de libre utilización para todos. Sin duda su buena planificación, ejecución y uso requieren una experiencia que garantice la calidad de la instalación.

Descritos como potenciales intercambiadores geotérmicos, pilotes, losas pantallas, muros e incluso túneles son algunas de las aplicaciones de cimentaciones termoactivas ejecutadas en Europa, desde hace casi cuarenta años y ahora en España en los últimos diez.

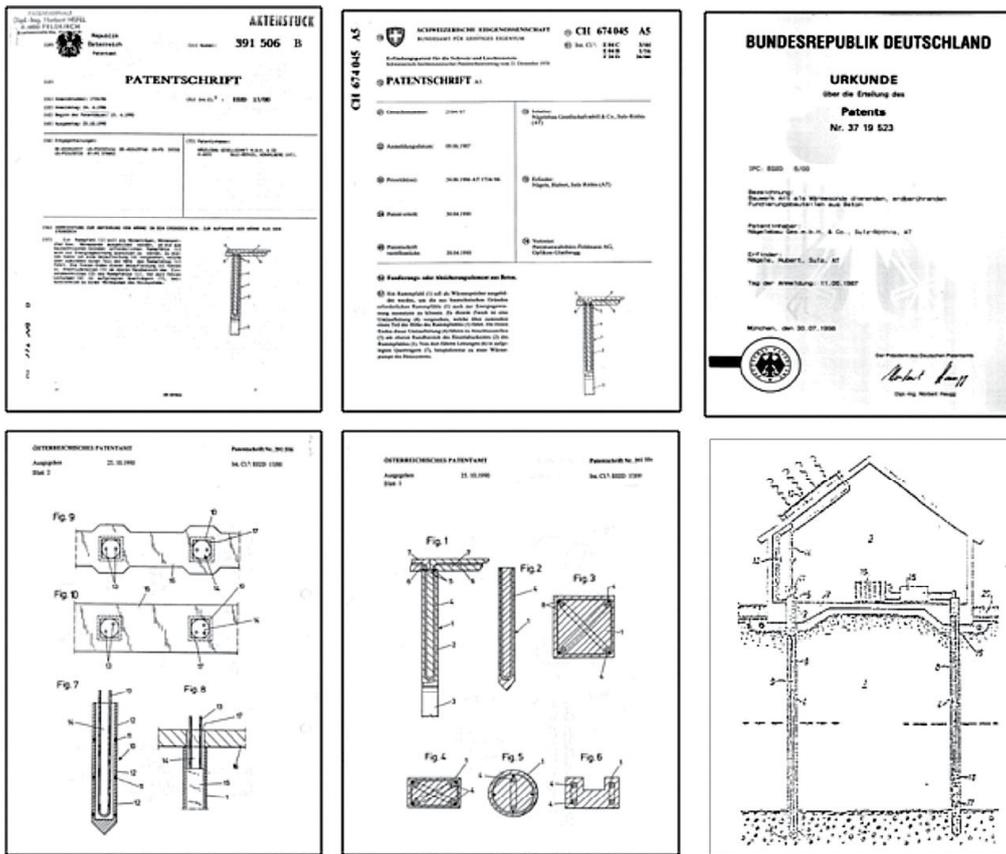
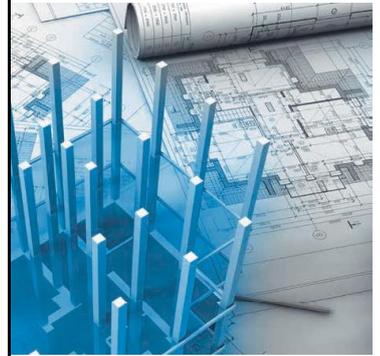


Figura 5.14. Algunas de las muchas patentes internacionales asociadas a la invención de sistemas termoactivos. Entre los años 1986 y 1987 la empresa austriaca NÄGELEBAU desarrolla, patenta y difunde la técnica de las cimentaciones termoactivas. Desde entonces hasta hoy ejecuta cientos de instalaciones con cimentaciones termoactivas a través de su empresa ENERCRET. En 2008 ENERES se constituye en España como la primera empresa nacional experta en cimentaciones termoactivas, incorporando la experiencia y el conocimiento de ENERCRET a soluciones de eficiencia específicamente desarrolladas para nuestro país. Una veintena de proyectos y obras singulares, publicadas y premiadas avalan una ejecutoria fundamentada en una técnica con mucho futuro en nuestro país. Fuente: ENERES/ENERCRET.

Desafortunadamente en España, en el campo de la Propiedad industrial, perduran instrumentos manipulables, como el Modelo de Utilidad, que otorgan derechos de propiedad industrial, sin mediar investigación alguna sobre el estado de la técnica.

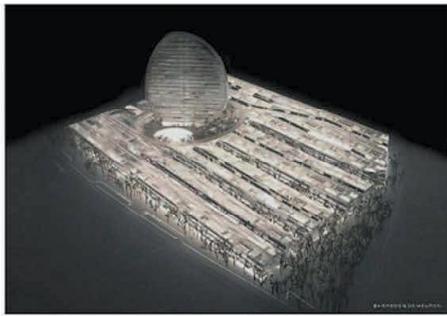
Reconocido como deficiente por La Oficina Nacional de Patentes y Marcas, el Modelo Industrial no se elimina o transforma porque en una España que investiga poco y patenta aún menos, esta es la expresión más frecuente de propiedad industrial en nuestro país.

En España hemos sido recientemente víctimas de un burdo ejercicio de apropiación fraudulenta del derecho de propiedad industrial y de



Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

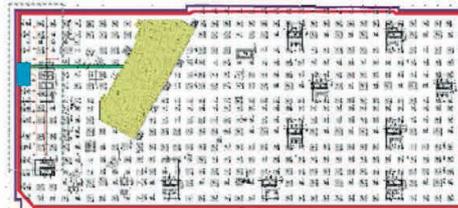
la titularidad de la invención, nada menos que de las Pantallas Termoactivas. Registradas bajo Modelo de Utilidad a finales de la pasada década por parte de un grupo de empresas y agrupaciones, protegidas por los responsables de asociaciones sectoriales y amparadas en su pertenencia a la Universidad, de la que emanan como spinoff. Estas empresas y los personajes, profesores universitarios y reconocidos actores del sector, que las dirigen, han recibido a lo largo de los últimos años cientos de miles de euros en subvenciones públicas a una investigación que no es tal, sino burda copia de lo ya desarrollado en países europeos hace décadas y son, no sólo carentes de la cualificación mínima para concurrir honradamente en un mercado abierto, sino que, incapaces de acudir con una verdadera invención al registro europeo de Patentes, aprovechan el coladero Español, para apoderarse del mérito y del trabajo de otros, y de unos derechos de propiedad que en ningún caso les corresponden, para agredir deslealmente a empresas expertas y competentes del sector, atemorizar a los potenciales clientes de un mercado aún frágil e inmaduro, y destruir el campo de acción y la legítima libertad de acceso a esta tecnología de todos, sociedad y empresas. El asunto, que se contempla con estupefacción e incredulidad por parte de nuestros socios europeos, está ya denunciado y es objeto de un proceso en los tribunales. No obstante, y tal como se pretendía por parte de los agentes de esta tropelía el daño ya está hecho.



Vista general del modelo del edificio. Herzog y de Meuron, Arquitectos



Vista general de las obras en ejecución. BBVA.



Pantallas termoactivas, en rojo, las losas termoactivas, en verde, y la sala de bombas de calor geotérmicas, azul; en los niveles subterráneos del edificio. Fuente JG / ENERES - ENERCRET

Figura 5.15. Durante los años 2010 y 2011 ENERES desarrolló para BBVA un proyecto integral de termoactivación, para el intercambio geotérmico, de los muros pantalla de su nueva sede en Madrid. Proyecto módico e innovador en nuestro país que mereció que el propio promotor, BBVA, lo hiciese público en la Guía de Proyectos Emblemáticos en el Ámbito de la Energía, publicada por la Fundación de la Energía de la CAM en 2011. En un estado avanzado de la fase de licitación de las obras, varias empresas «emblemáticas» del sector de la «producción de energía renovable», realizan una acción combinada orientada a sembrar serias dudas a BBVA sobre la viabilidad legal del proyecto de pantallas termoactivas, y dirigen amenazas directas a todos los agentes del proyecto, incluyendo a BBVA, sobre su libre derecho a la utilización de esta técnica. Como resultado BBVA cancela el proyecto de pantallas termoactivas. El escándalo provocado por este caso en la Administración Regional de Madrid, trascendió al Libro de Actas y a las conclusiones del último congreso de geotermia GEOENER III, 2012, donde quedará para siempre. Fuente: ENERES/ENERCRET.

5.4. CLIMATIZACIÓN TERMOACTIVA. REFRIGERACIÓN Y CALEFACCIÓN MEDIANTE ESTRUCTURAS TERMOACTIVAS

Los **forjados inerciales o termoactivos** son un nuevo desarrollo que constituye el sistema ideal para la climatización de edificios con estructura inercial mediante su acoplamiento a la geotermia. También son denominados *concrete core systems*, sistemas de refrigeración y calefacción que utilizan la masa de hormigón.

Los intercambiadores tubulares de calor se integran directamente en la masa de hormigón. Se trata de tubos multicapa de polietileno, PE, y aluminio que se usan como intercambiadores. Los tubos tienen un diámetro de 15 mm a 20 mm, y se colocan a intervalos entre 10 y 30



centímetros, dentro de las losas, a una altura intermedia, más o menos a la altura de la zona neutra de la losa estructural.

Como la mayoría del intercambio se realiza a través del techo, sobre 2/3, y no a través del suelo, 1/3, los tubos también se pueden desplazar cerca de las superficies del techo, que son más efectivas en la transferencia térmica.

En función de la posición de los intercambiadores y de la posición en que están dentro de las losas, se pueden realizar distintas variantes de intercambio térmico en distintos momentos. Es muy importante que los acabados y revestimientos de los techos y suelos estén resueltos con materiales y soluciones que no comprometan la transferencia térmica.

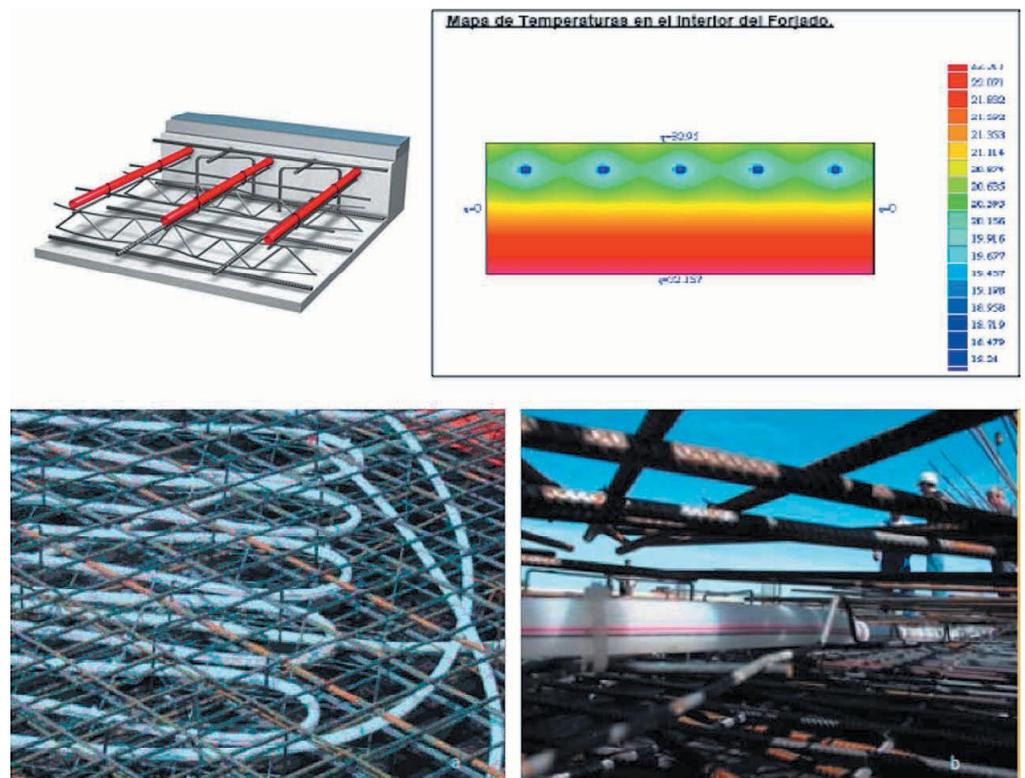


Figura 5.16. Posicionamiento e integración constructiva de los conductos de PE dentro de una losa termoactiva de nueva construcción.
Fuente: REHAU/ENERES.

Al contrario de lo que sucede con los sistemas de climatización por suelo radiante, en el caso de los sistemas termoactivos la instalación de los circuitos de intercambio tubulares se integra en el proceso de ejecución de la estructura, armado, encofrado y vertido del hormigón. Esto requiere de una cuidadosa planificación e integración en el diseño estructural para evitar afecciones estructurales, en particular de áreas con mucha tensión en el entorno de pilares y patios.

Antes de ser embebidos en las losas y forjados, los tubos se revisan para detectar pérdidas mediante inspección visual y puesta a presión. Los tubos deben ser colocados cuidadosamente para evitar daños y posteriores reparaciones. La experiencia demuestra que los retrasos en el proceso de construcción se pueden evitar mediante medidas apropiadas y con la presencia de suministradores expertos en estos sistemas.



Figura 5.17. Instalación de intercambiadores y colectores de una losa termoactiva, en la fotografía se pueden apreciar los extremos cerrados con llave y manómetro de los circuitos que durante la ejecución se mantienen presurizados. Proceso de hormigonado de una losa termoactiva.
Fuente: UPONOR/ENERES.

En el caso de los forjados termoactivos, la tubería de polietileno reticulado se coloca entre las armaduras de las losas de hormigón armado, habitualmente se suministra pre montada, según diseño, sobre unas mallas metálicas que se integran entre las armaduras estructurales. Por estos circuitos circula el agua que es el medio de transferencia de calor que transporta la energía al interior del edificio. Con esta tecnología, se aprovecha la capacidad de almacenamiento de calor del hormigón, que es ideal para amortiguar las cargas de calor y frío.

Los sistemas de calefacción de baja-temperatura, sistemas de calefacción de pared, suelo o techos son ideales para el uso de la energía geotérmica. Estos sistemas pueden ser utilizados tanto para resolver la calefacción como la refrigeración. El agua para la transferencia de calor que circula por la tubería del sistema es enfriada en el verano y calentada en el invierno, calentada o enfriada en primavera y otoño, manteniendo de esta manera la masa de hormigón de la estructura a la temperatura adecuada a la estación, al día y al uso.



Figura 5.18. Suministro de circuitos de intercambio premontados sobre un entramado de acero que queda embebido en la losa termoactiva. Es importante señalar que el diseño de los intercambiadores permite adecuar el flujo de energía en las losas a las necesidades de equilibrio térmico de distintas partes del edificio. Fuente: UPONOR/REHAU.

La construcción de losas termoactivas es posible no sólo en procesos de nueva edificación sino también en procesos de rehabilitación, donde la capacidad inercial de los forjados existentes se potencia hasta lograr la masa necesaria para lograr el equilibrio termodinámico del sistema. Estos forjados o losas existentes se dotan de circuitos de intercambio y sistemas de colectores y control, y se hormigonan con morteros conductores que quedan solidariamente incorporados a la estructura original dejando completamente embebidos los circuitos de intercambio.

En procesos de rehabilitación, en los que el espacio disponible, la altura, el volumen, adquieren un valor extraordinario, tener la posibilidad de dotar a los edificios con sistemas integrados en 5 ó 7 cm de masa, que resuelven en toda la superficie un enorme confort con costes ajustados y enorme eficiencia, es una alternativa de enorme valor.



Figura 5.19. Proceso de termoactivación de un forjado en un edificio de oficinas donde la totalidad de la estructura horizontal ha sido termoactivada como sistema de climatización en interacción con estructuras geotérmicas termoactivas. Fuente: ENERES.

Del mismo modo que la prefabricación resuelve de manera práctica la ejecución de cimentaciones termoactivas, podemos encontrar componentes estructurales termoactivos preindustrializados, prelosas termoactivas dotadas en su cara inferior con circuitos de intercambio embebidos y conectores en el exterior para resolver la conexión entre losas. Estos componentes reducen significativamente los costes y los plazos de ejecución, garantizan unas condiciones óptimas de control de calidad y unos acabados perfectos.

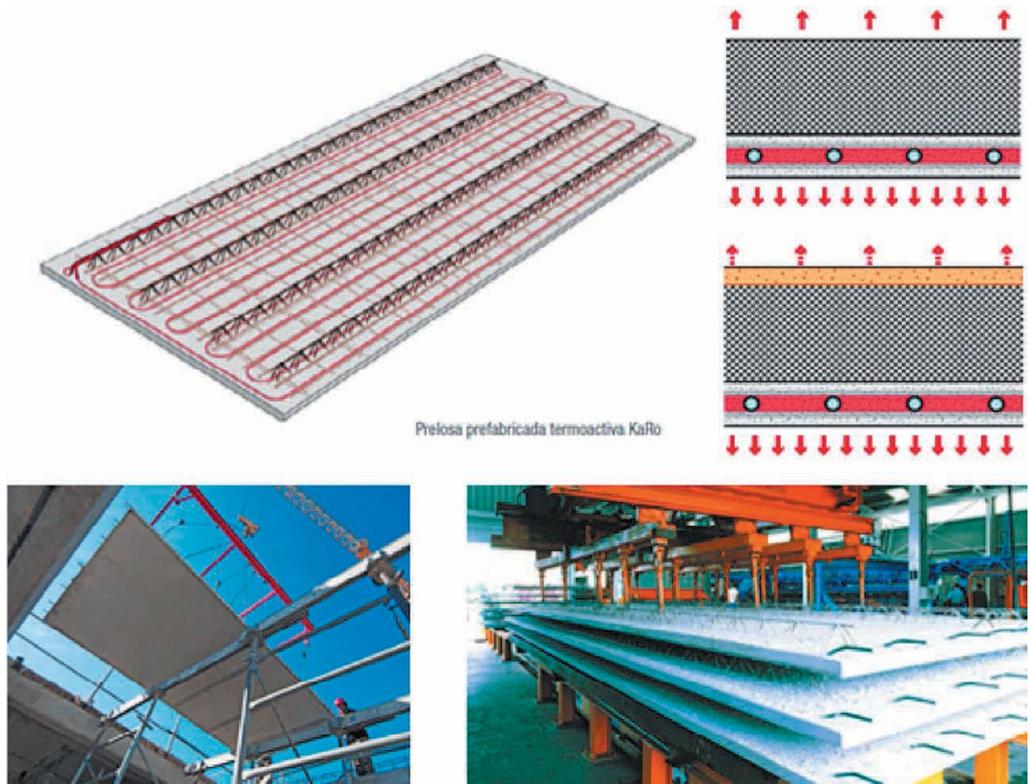


Figura 5.20. Sistema pre industrializado de prelosa termoactiva Karo.
Fuente: KARO.

Y, por extensión, algunos fabricantes han abordado la completa prefabricación de losas termoactivas, como es el caso de NAGELEBAU, que comercializa dos modelos, con distinta luz y capacidad portante de losas termoactivas auto portantes que integran en una sección en forma de U, dos vigas de canto. El conjunto que forman la losa y las vigas integra el entramado de tubos de PEX que forman el intercambiador que calienta o enfría las losas, que tienen mucha masa, inercia y son un poderoso elemento para la climatización de los grandes espacios a los que está destinado este producto.

La completa pre industrialización de este elemento constructivo garantiza unos niveles de control de calidad imposibles de implementar en obra para la manipulación del tubo de intercambio, la ejecución de los circuitos, el hormigonado, y los acabados. El sobrecoste de un elemento de este tipo se compensa con la reducción de plazos y costes globales que supone y por sus altas prestaciones.

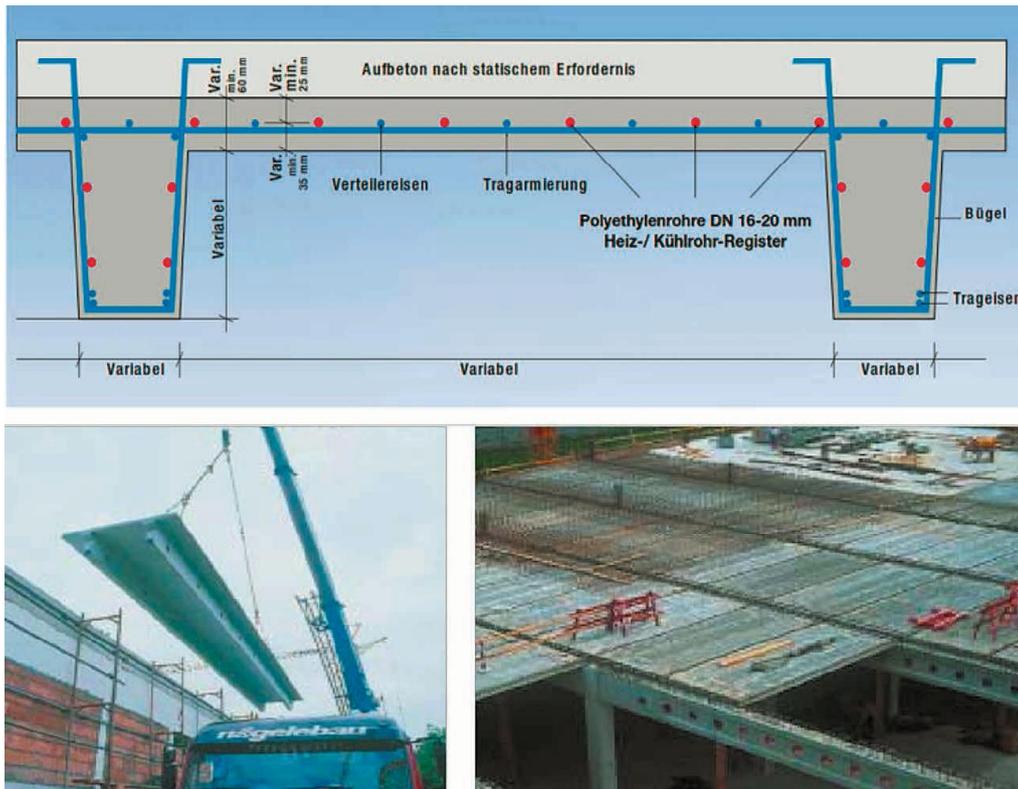


Figura 5.21. Esquemas y vistas de la instalación del sistema de losas prefabricadas termoactivas de hormigón armado. En la sección del elemento constructivo se aprecia como el fabricante, NAGELEBAU, aprovecha la totalidad de la superficie de losa y vigas como intercambiador termoactivo, modular, interconectable y de gran capacidad. Esta es una solución espectacular para resolver con una solución integrada de rápida ejecución la estructura y la climatización aprovechando toda la capacidad inercial de las losas. Fuente: NAGELEBAU/ENERCRET/ENERES.

En los sistemas de climatización por aire el flujo convectivo, en torno a la gente y a los equipos puede hacer impredecible e ineficiente la transferencia de aire y de calor. Esto es así incluso en el más pequeño de los espacios climatizados por aire. Las superficies termoactivas permiten lograr un medio térmico mucho más equilibrado.

Hay una distinción conceptual muy importante entre estos dos modelos de climatización. En un sistema basado en el aire el objetivo es climatizar el volumen de aire que está dentro del espacio para desplazar las temperaturas superficiales del espacio y para intercambiar calor con el cuerpo por medio del flujo convectivo. En un sistema termoactivo, hidrónico, basado en la circulación de agua, el reto es intercambiar energía a través de las superficies que delimitan el espacio. Las superficies termoactivas no enfrían el espacio, más bien impiden que se vaya calentando. Si un edificio no se sobrecalienta no necesita ser refrigerado. Es un cambio de paradigma en las teorías de climatización.



Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

El techo y el suelo son las mejores superficies para instalar sistemas termoactivos. En la configuración de refrigeración o absorción de energía las superficies termoactivas absorben las ganancias de calor del espacio. Estas ganancias incluyen las del cuerpo humano, equipos, iluminación, ganancias solares, ganancias a través de la envolvente y de la ventilación. En este proceso, el aire caliente asciende y se produce convección. Adicionalmente el calor radiante de los objetos calientes como cuerpos humanos u ordenadores, se transfiere electromagnéticamente a los paramentos activos debido a su menor temperatura. El agua del sistema hidrónico captura finalmente ese calor en las superficies termoactivas y lo extrae del espacio y del edificio. En todos los casos si la temperatura superficial del elemento termoactivo está por debajo de la del aire, el cuerpo y otros objetos de la habitación, la superficie termoactiva estará absorbiendo y extrayendo aire del espacio. Es importante visualizar que el flujo de calor es siempre desde los objetos con altos niveles de energía térmica hacia aquellos objetos que tienen niveles más bajos de energía.

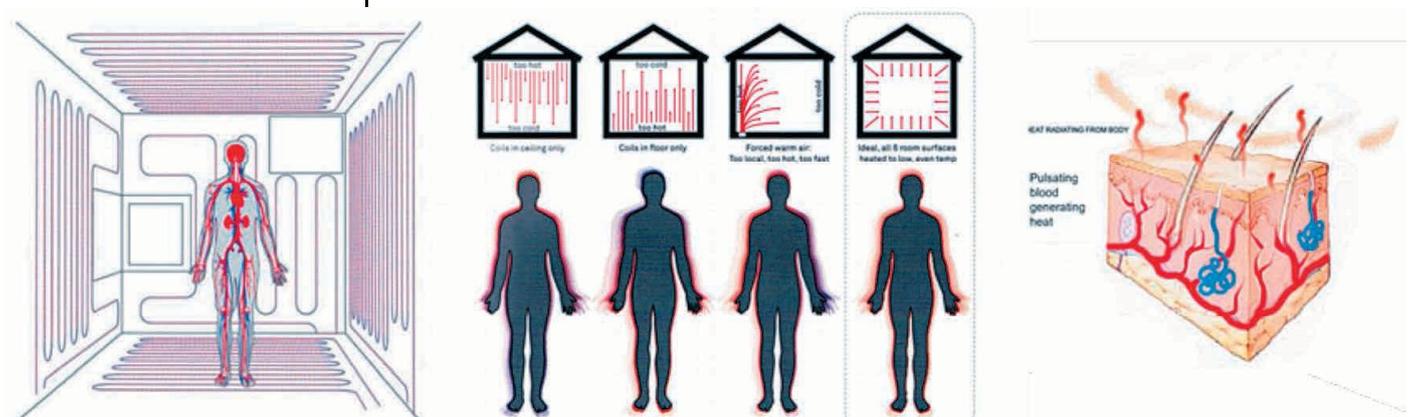


Figura 5.22. En nuestra acción rehabilitadora, el enfoque de la eficiencia energética en la climatización parte de aprovechar la oportunidad de diseñar y construir el medio térmico que el cuerpo humano percibe de manera activa, en lugar de considerar al individuo como un sujeto pasivo. Rompiendo definitivamente el paradigma de que el individuo está subordinado al edificio, e invirtiéndolo: el edificio está concebido para la interacción con el individuo. Fuente: KIEL MOE/ENERES.

Para conseguir abordar por completo la cuestión del confort humano, los cálculos térmicos tienen que incluir las superficies que delimitan el espacio. Durante gran parte del siglo xx las temperaturas superficiales no estaban incluidas en las técnicas de cálculo por temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo, como evidencia el diagrama psicrométrico de Carrier. En la actualidad se usa la Temperatura Operativa (un promedio de varias temperaturas radiantes del aire y del medio) para calcular el rendimiento y el confort térmico.

Más que un mero factor de confort térmico, los efectos de las superficies termoactivas se extienden mucho más allá de lo fisiológico. Una propiedad única de los sistemas termoactivos es su capacidad de realizar calefacción de baja temperatura y una refrigeración de alta temperatura. En los sistemas basados en la transferencia radiante el objetivo es la modulación de la temperatura superficial.

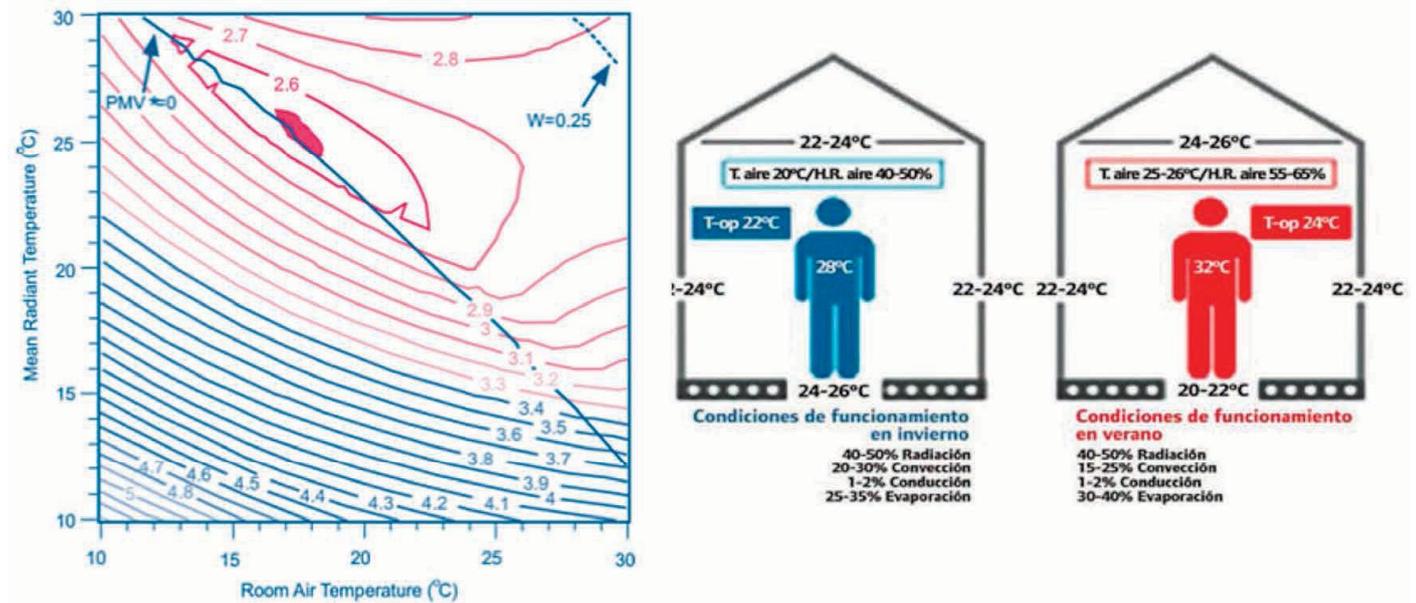


Figura 5.23. Relación entre el consumo energético del cuerpo humano (W/m^2), temperatura del aire, y temperatura radiante media de los paramentos. Hay una combinación óptima de temperatura del aire y temperatura media radiante de la que resulta el mínimo consumo y el confort óptimo. Fuente: LOWEX/ENERES.

5.4.1. Control de temperatura y ventilación

Como cualquier otro sistema de climatización, los dispositivos termoactivos se integran en sistemas que tienen por objeto asegurar el confort higrotérmico en el edificio. Los sistemas termoactivos no contribuyen a mantener la calidad del aire interior, ni al control de la humedad. De hecho una de las determinaciones básicas del uso de estos sistemas es la desagregación de los sistemas de aire y la climatización del edificio.

Es significativo el hecho de que en el cuerpo humano el sistema de regulación térmica de está desacoplado del sistema de ventilación. El cuerpo evolucionó así por una sencilla razón, el agua es 832 veces más densa que el aire y por lo tanto tiene una mayor densidad energética. La densidad energética es la cantidad de energía que



se puede almacenar en una unidad de masa. Dada la mayor densidad del agua, se puede capturar canalizar mucha más energía con agua que con aire. Es difícil imaginar que el cuerpo usara el aire para transferir energía, cuál sería el tamaño del sistema respiratorio, el diámetro de venas y arterias, y la ingesta de calorías que haría falta para acondicionar térmicamente el cuerpo, tan absurda como ineficiente. Entonces, es muy difícil imaginar porqué diseñamos y climatizamos los edificios así.

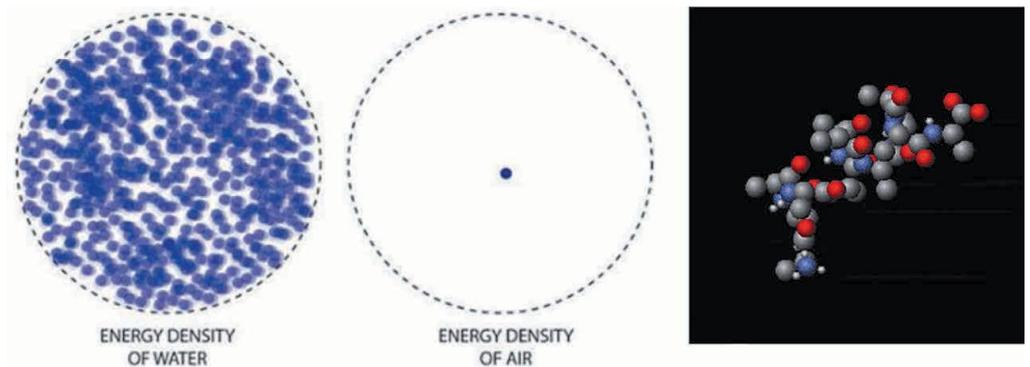


Figura 5.24. De todos los mecanismos de intercambio térmico del cuerpo humano, el menos efectivo y el más ineficiente es el que se produce mediante el contacto con el aire, estático o en movimiento a velocidad moderada, la convección, y, sin embargo, este es el mecanismo básico de la gran mayoría de los sistemas de climatización planteados en la rehabilitación. Fuente: Kiel Moe/ENERES.

La humedad de un espacio juega también un importante papel en el confort humano. En los sistemas de climatización termoactivos se debe considerar la humedad. Desacoplar las cargas térmicas de la humedad y de las necesidades de ventilación, supone una reducción muy considerable de las cargas de ventilación que permite reducir equipos, conductos, compuertas, rejillas, etc. En muchos casos esta drástica reducción del sistema de aire incluido el control de la humedad y la ventilación, supone una liberación de espacio y una reducción de costes de implantación y mantenimiento que, a menudo, compensan el coste de los sistemas termoactivos.

El aire se renueva por razones de salubridad con un régimen que varía según las necesidades vinculadas al uso y la ocupación del edificio. Para asegurar el mínimo gasto de energía en la ventilación, el aire de renovación puede ser pretratado, enfriado o calentado, mediante un intercambiador tierra-aire. La toma de aire y la expulsión están dotadas de un recuperador de calor para reducir las pérdidas de energía

en la ventilación, y sin la necesidad de un sistema adicional para calentar o enfriar el aire en invierno o verano.

En paralelo al sistema de ventilación mecánica, los edificios deben tener ventanas practicables. Dependiendo del clima y de la época del año y de las dinámicas locales de la humedad ambiental, es posible que no sea necesaria la ventilación mecánica en buena parte del año.

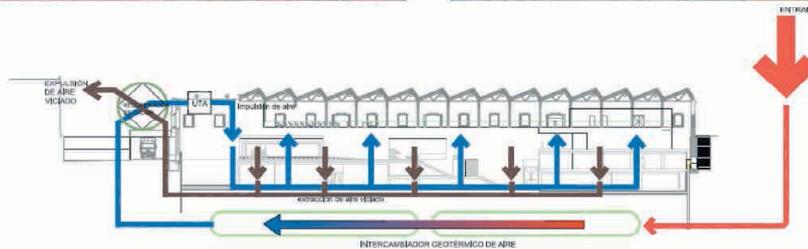
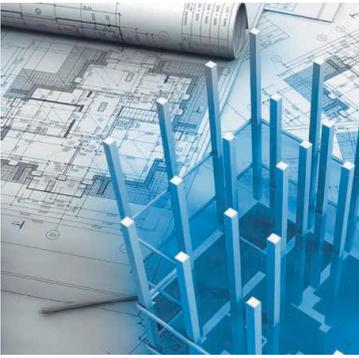


Figura 5.25. Instalación de pretratamiento geotérmico de aire para 24.000 m³/hora, para el nuevo teatro infantil construido en el rehabilitado cuartel de Daoiz y Velarde en Madrid. La climatización está íntegramente resuelta con las losas termoactivas acopladas a un sistema de intercambio geotérmico, que se puede ver en las fotografías. Fuente: ENERES.

5.5. BOMBA DE CALOR

Por su principio de funcionamiento, la BCG es simplemente una bomba de calor que transfiere calor a o desde la aplicación (edificio o proceso) al terreno. Ello posibilita una menor demanda de energía primaria por parte del compresor (eléctrico o de gas) debido a que, en muchos momentos, el suelo posee condiciones de temperatura más favorables que el aire.

Las ventajas de las BCG son múltiples, ya que se conjugan el concepto de ahorro y eficiencia (entre el 40% y el 60% de la energía primaria que se utiliza en climatización, según el sistema con el que se com-



pare), el hecho de ser una fuente de energía renovable y múltiples ventajas en cuanto a integración arquitectónica, facilidad de mantenimiento y escasez de ruido. Adicionalmente, son sistemas basados en tecnologías bien conocidas y, por consiguiente, su introducción puede basarse en gran medida en elementos ya disponibles en el mercado. Finalmente, la BCG destaca por su capacidad de integrarse con otras fuentes de energía renovables, a las que complementa más que sustituye y puede ayudar en su desarrollo, tales como los paneles solares térmicos.

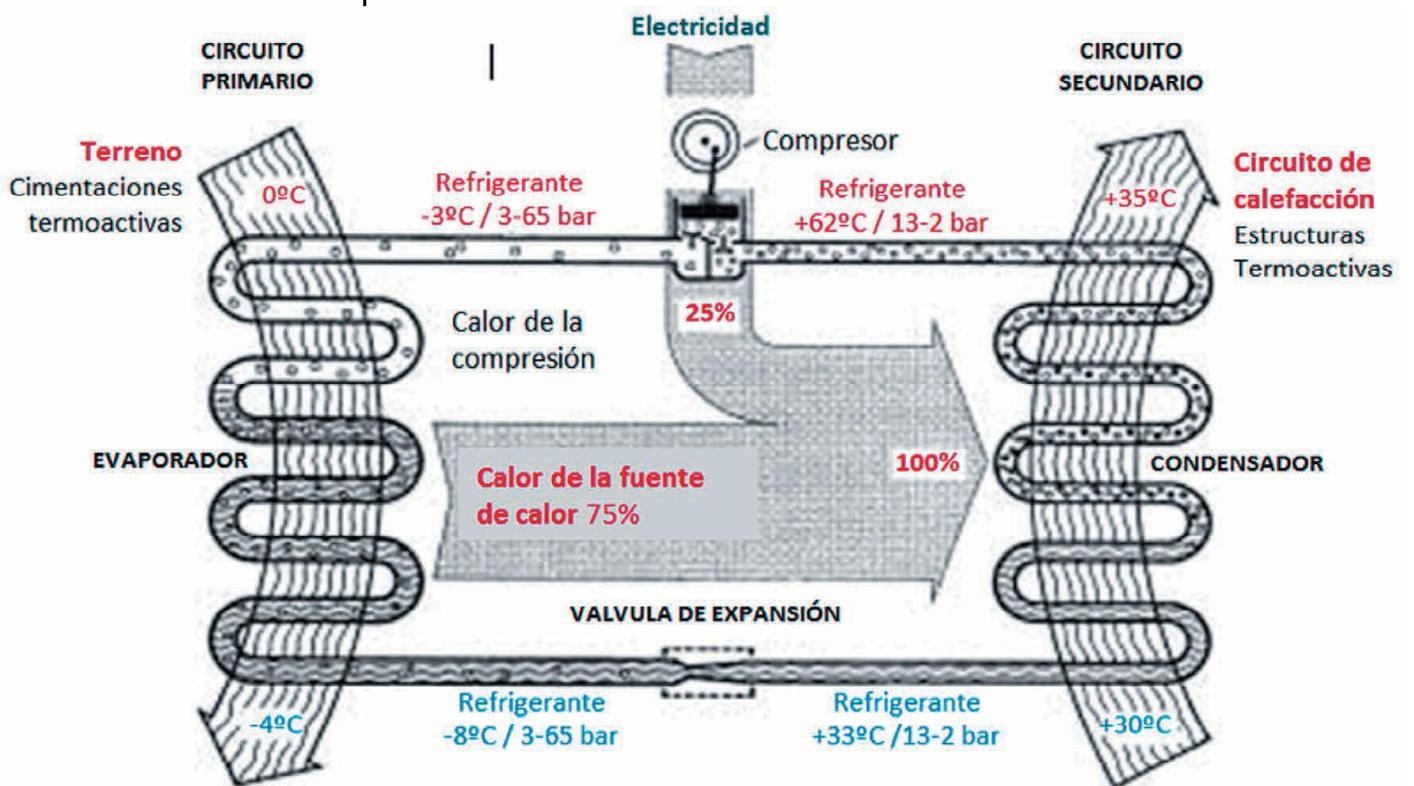


Figura 5.26. Esquema de una bomba de calor con presiones y temperaturas para un refrigerante R290 (por ejemplo) El intercambio de calor se produce entre el circuito primario al refrigerante, en el evaporador y del refrigerante al circuito secundario en el condensador. Fuente: Prof. Heinz Brandl.

Las bombas de calor geotérmicas son equipos sencillos y fáciles de mantener, ocupan un espacio reducido y, al intercambiar energía entre dos circuitos de agua, no precisan de grandes conductos ni instalaciones de ventilación. Sin embargo en el caso de las bombas es muy importante que tengan la capacidad de comunicarse con los sistemas de control del edificio y recoger datos permanentemente sobre su funcionamiento, ya que están en el corazón del proceso de intercambio donde la optimización operativa aporta más eficiencia.



Figura 5.27. La implantación de sistemas termoactivos suele permitir recuperar una superficie útil significativa en los edificios. A la práctica desaparición, por integración, de los sistemas de transferencia de energía, se suma la reducción de los conductos y sistemas de renovación y tratamiento del aire, y la fácil implantación de las bombas de calor agua-agua. Fuente: ENERES.

5.6. DINÁMICAS DE LA REFRIGERACIÓN Y LA CALEFACCIÓN MEDIANTE ESTRUCTURAS TERMOACTIVAS. OPERACIÓN Y CONTROL

En los edificios dotados con sistemas de climatización termoactiva las temperaturas individuales de los distintos espacios tienen una capacidad de cambio y reacción más lento que los de un sistema activo. Las temperaturas de los distintos espacios están influidas por el uso, por ejemplo, por las ganancias solares, por las cargas internas, por la influencia de los usuarios, y por la ventilación. Las estrategias de calefacción y refrigeración precisan de una gestión de recarga predictiva.

Se produce un interesante efecto de autocontrol debido a la pequeña diferencia de temperatura entre los paramentos y la temperatura del espacio: habitualmente la temperatura de las losas termoactivas fluctúa en una banda estrecha entre los 21 °C y los 25 °C. Si la temperatura de la habitación es más alta que la temperatura de la losa termoactiva, esta actuará como una superficie refrigerante. Por ejemplo, si la superficie de la losa está sobre los 20 °C y la habitación todavía no ha sido ocupada y, en el frescor de la mañana tiene una temperatura de 18 °C, esta habitación será inmediatamente calentada. Si, a causa de cargas externas e internas, la temperatura sube a 21 °C en el curso del día, la habitación será enfriada. De alguna manera la transferencia térmica entre la habitación y la losa termoactiva se autocontrola y autoregula. Lo mismo sucede ante la presencia de personas, generando un mecanismo inmediato de interacción, autocontrol y reequilibrio.



5.6.1. Estrategias de control y operación

El control del rendimiento del sistema termoactivo que se desarrolla a lo largo del día, a corto plazo, es básicamente el de la autoregulación reactiva que acabamos de comentar. Como corresponda en cada caso a la refrigeración o a la calefacción, se plantea la posibilidad de seguir los siguientes métodos y estrategias de operación:

- **Operación día-noche:** si la losa termoactiva se carga de energía durante la noche para calefactar o si se enfría para refrigerar, debe tener suficiente capacidad de almacenamiento para cubrir la demanda que se genera durante el día. Como hacer una recarga precisa es difícil, hay que recargar algo más de energía de la que se prevé sea necesaria, o tolerar fluctuaciones en la temperatura de la habitación. En sentido estricto, en este escenario no hay un sistema de control fundamentado en la temperatura de la habitación. En su lugar hay una gestión más o menos precisa del almacenamiento de energía. Esta gestión va mejorando con el tiempo si además de incorporar los datos sobre el estado de carga, se hace una prognosis del comportamiento climático del día siguiente y un estimado del estado de cargas internas, y se incorporan a la estrategia de control. En este caso el nivel de recarga del sistema termoactivo lo determina la demanda del espacio más desfavorable de cada nivel.
- **Operación continua:** La recarga de las losas termoactivas puede ser también continua a lo largo del día, y regulada a través de los cambios de temperatura del agua de los diferentes circuitos que transfieren energía a las distintas partes del edificio.
- **Control:** Las losas se recargan con calor, se enfrían o se desactivan en función de las condiciones de temperatura exterior, la temperatura de la habitación o la diferencia entre las temperaturas de impulsión y retorno del agua. Incorporamos también la predicción climática. La temperatura de suministro, el caudal, y los tiempos de funcionamiento de la bomba de impulsión sirven como parámetros de control para hacer ajustes a la temperatura de la habitación.

Las condiciones de radiación en la habitación determinan el confort. El término «asimetría de radiación» se refiere a la diferencia máxima de temperatura que se produce entre dos superficies opuestas en una habitación. El calentamiento o enfriamiento unilateral de las personas debido a las temperaturas desiguales de las superficies circundantes

puede conducir a la incomodidad térmica. Por lo tanto, si el calentamiento se produce únicamente a través de la losa, la temperatura de la superficie no debe exceder de aproximadamente 27 °C. Cuando se requiere de refrigeración, la diferencia de temperatura entre la superficie de la losa fría y las otras superficies en la habitación no debe exceder de 14 K (ISO 7730). Estos criterios se cumplen en edificios de baja energía con control de la temperatura de la masa de hormigón. En combinación con disipadores de calor naturales, las temperaturas de suministro estarán entre un mínimo de 18 °C y una máxima de 29 °C, por lo que las temperaturas de la superficie de la losa están cerca de la temperatura ambiente.

Con el enfriamiento por medio del control de la temperatura de la losa termoactiva, las temperaturas ambientales requeridas, con respecto al comportamiento del ocupante, pueden (casi) siempre mantenerse, siempre que haya una reducción consistente de cargas térmicas solares e internas, consustancial a un edificio eficiente.

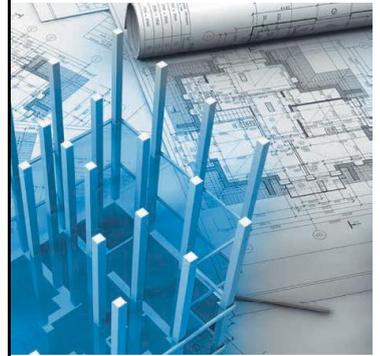
Como la ventilación en conjunción con el sistema termoactivo realiza sólo una función higiénica, y no una función térmica, el volumen de aire puede limitarse a la renovación mínima del aire higiénicamente requerida. Las bajas velocidades de aire y la reducción de ruido que resultan del flujo de volumen de aire reducido también aumentan el confort.

5.7. CASOS EJECUTADOS 2009 - 2013

Rehabilitación integral de edificio de oficinas en la calle de Apolonio Morales N° 29 Madrid

Ubicado en un entorno urbano de excelente calidad ambiental el edificio ha sido rehabilitado en el año 2009, conservando toda su estructura original y renovando por completo su envolvente y todos los sistemas técnicos.

Desarrolla estrategias para el aprovechamiento bioclimático pasivo, a través de una envolvente reactiva que gestiona el control solar, la ventilación, la refrigeración pasiva nocturna, y la iluminación natural. La renovación del aire dispone de pretratamiento solar, es de régimen variable y esta desacoplada de los sistemas inerciales y termoactivos de climatización.



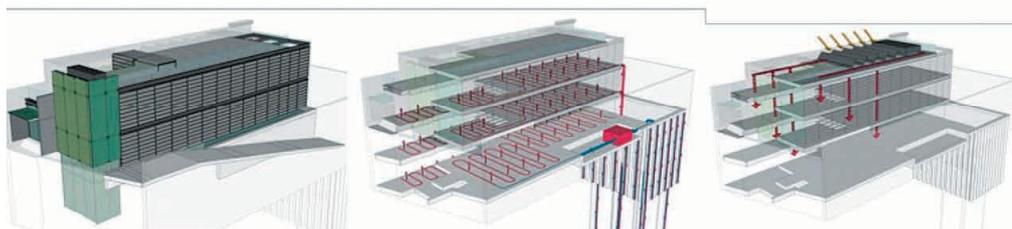
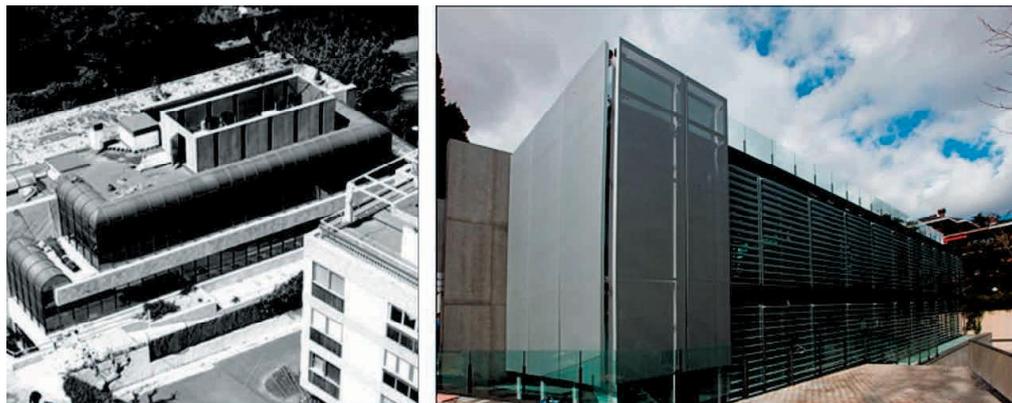


Figura 5.28. Rehabilitación integral de edificio de oficinas en la calle de Apolonio Morales nº 29 de Madrid. Estados previo y posterior a la rehabilitación de la envolvente exterior del edificio. Que integra sistemas de pretratamiento pasivo del aire, geotermia y estructuras termoactivas para la climatización, en un contexto de rehabilitación con muchas oportunidades derivadas del bioclimatismo, la reutilización de la estructura existente y el aprovechamiento geotérmico a través de cimentaciones termoactivas. Arquitectos: Luis de Pereda y Manuel Mallo. Concepción energética ENERES. Fuente: ENERES/IEI/Fernández Molina Obras y Servicios.

La construcción de un aparcamiento mecánico para catorce vehículos sobre los 120 m² del patio trasero del edificio, con una profundidad de pantalla estructural de 10 metros, propició la termoactivación de los 32 pilotes estructurales que conforman el vaso del aparcamiento, que combinados con 6 intercambiadores geotérmicos verticales de 100 metros de profundidad aportan, a través de dos bombas de calor geotérmicas de 25 kW, los 24.000 kWh de energía que el edificio consume al año en climatización. Aproximadamente 30 kWh m²/año.

La energía acumulada en el terreno se intercambia con los forjados del edificio. En una fase temprana del proceso de rehabilitación se reconoció la capacidad de la estructura para jugar un papel clave en las estrategias de eficiencia, en particular para servir como dispositivo termoactivo de climatización a temperatura moderada y con mecanismos de transferencia y almacenamiento radiantes. Así se termoactivaron los forjados agregándoles 6 cm de mortero termoconductor para suplementar los 5 cm de capa de compresión de hormigón hasta los 12 cm actuales, donde están embebidos los circuitos de transferencia de calor.

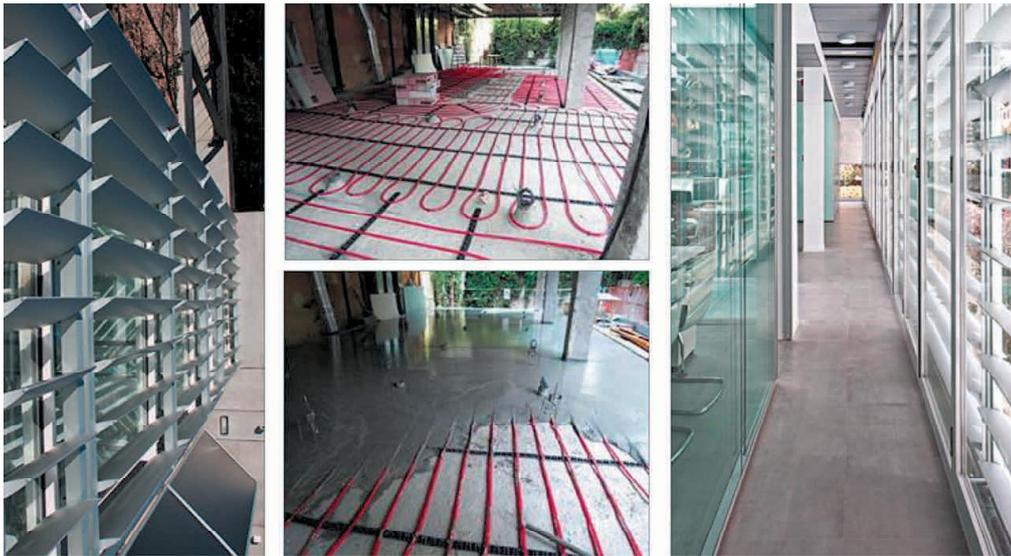


Figura 5.29. El control solar y el control de la ventilación para el refrescamiento pasivo son algunos de los factores que interactúan con el reforzado recurso inercial del edificio. Que se climatiza íntegramente con recursos geotérmicos captados por cimentaciones termoactivas y canalizados al interior del edificio a través de forjados termoactivos en la envolvente y Fuente: ENERES/IEI.

El edificio está regido por un sistema de control alimentado por datos e información recogida por una red de elementos de campo especificada a la medida de las estrategias de eficiencia, que en nuestro caso son más de una docena de escenarios en consideración a todos los factores variables vinculados a la transferencia de energía, luz y agua entre el edificio y su entorno, o dentro del propio edificio.

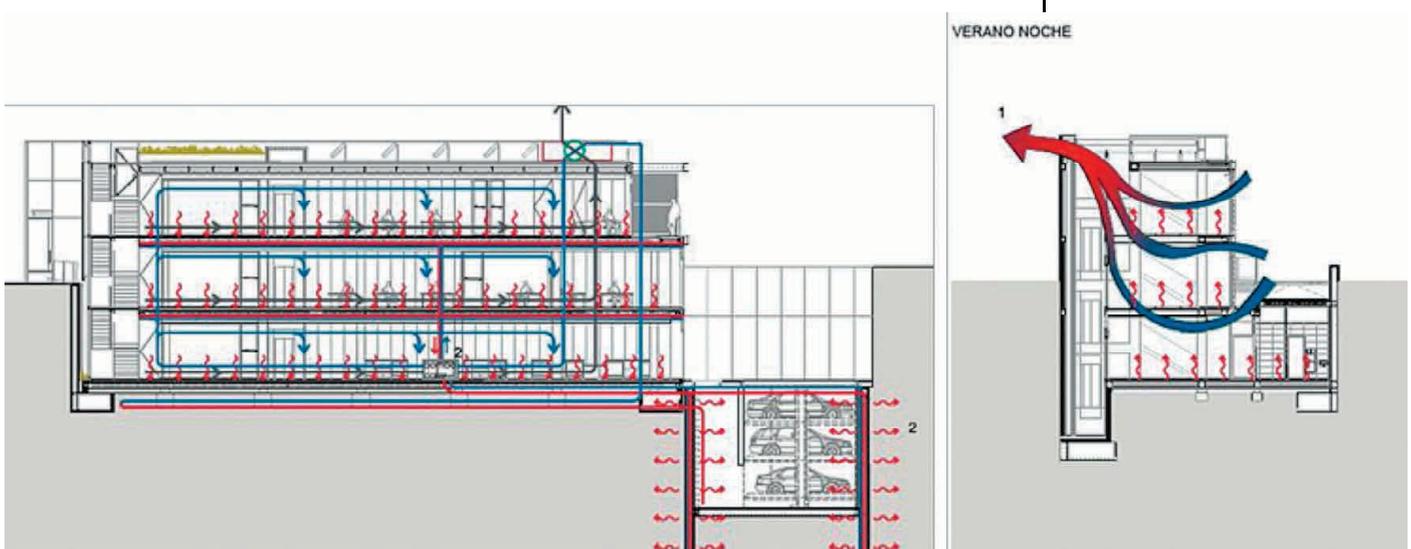
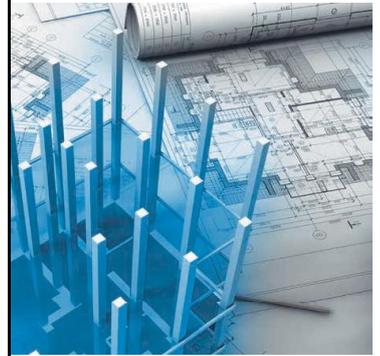


Figura 5.30. Esquema de una bomba de calor con presiones y temperaturas para un refrigerante R290 (por ejemplo). El intercambio de calor se produce entre el circuito primario al refrigerante, en el evaporador y del refrigerante al circuito secundario en el condensador. Fuente: Prof. Heinz Brandl.





Rehabilitación integral de un palacete protegido para oficinas de la administración en Madrid

En este caso un palacete protegido de principios de siglo XX, es objeto de una rehabilitación integral, con la que un edificio heredado, histórico por su condición de catalogado, aprovecha los recursos del entorno para autoabastecerse energéticamente y puede interaccionar con las necesidades de confort de sus usuarios.

La rehabilitación es integral y aborda todos los temas de eficiencia y sostenibilidad que nos preocupan en el siglo XXI con una visión holística que se preocupa de satisfacer las necesidades de confort de sus usuarios respetando el entorno y aprovechando los recursos que el entorno ofrece. Desde este análisis holístico del problema se encuentra un recurso local, la energía geotérmica como una opción de sostenibilidad a lo largo de la vida del edificio, que por su escaso impacto de las instalaciones necesarias es muy adecuada para un edificio protegido.



Figura 5.31. Oficinas de la Administración del Estado en un palacete protegido en el Barrio de Chamberí de Madrid. Estados previo y posterior a la rehabilitación de la envolvente exterior del edificio. Que integra sistemas de pretratamiento pasivo del aire, geotermia y estructuras termoactivas para la climatización, en un contexto de rehabilitación muy exigente. Arquitecto Ignacio Mendaro. Concepción energética ENERES. Fuente: ENERES/Fernández Molina Obras y Servicios.

La intervención concibe el edificio como un sistema que interacciona con el individuo y con el entorno, un sistema de generación bioclimático que coordina un pretratamiento del aire, la recuperación de energías del medio y residuales, la utilización de la estructura horizontal termoactivada y la captación geotérmica, para conseguir climatizar el edificio, en sus necesidades de calefacción y refrigeración.

Se aborda primero la reducción de la demanda, mejorando la envolvente en sus características aislantes así como el control de la radia-

ción solar y la iluminación natural. Junto a este tratamiento minucioso de las envolventes se aprovechan las condiciones de soleamiento en cubierta para hacer un precalentamiento del aire de renovación que se usará en invierno; y las condiciones de refrescamiento que se dan en los sótanos en contacto con el terreno para pre enfriar el aire de renovación que se utiliza en verano; en ambos casos este aire atemperado pasa a las unidades de tratamiento de aire para después entrar a renovar el aire del edificio.

Después se determinan las necesidades energéticas para la climatización y se plantea la captación geotérmica como fuente de generación energética. Se construyen 14 intercambiadores verticales de 150 m de profundidad además de 45 pilotes que se utilizan como intercambiadores geotérmicos pertenecientes a la pantalla discontinua de contención y cimentación. También los forjados se utilizan en funciones de climatización, son losas de hormigón visto termoactivadas que funcionan como acumuladores, transmisores y absorbedores de energía. El sistema de generación que se inicia en los intercambiadores geotérmicos, interacciona con un sistema inercial, las losas que funcionan como acumuladores y superficies radiantes de climatización. Los sistemas de captación geotérmica y los sistemas termoactivos, pilotes y losas, aprovechan al máximo los recursos del medio y del propio edificio.

La capacidad total de este conjunto de intercambiadores genera el 100% de la demanda de energía para la calefacción del edificio, y el 70% de la demanda de energía para la refrigeración. La cobertura total en refrigeración se ha resuelto incorporando un sistema de inducción estacional del terreno. La gestión del recurso geotérmico utiliza energía térmica de baja intensidad y temperatura moderada.



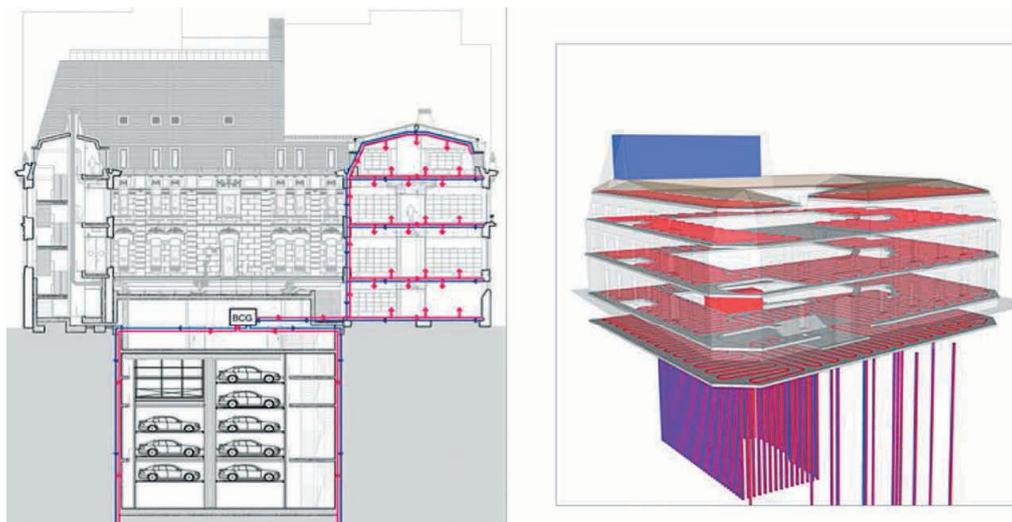


Figura 5.32. Esquema del sistema de intercambio de energía entre el edificio y el terreno a través de cimentaciones y estructuras termoactivas, que resuelve el 100% de la calefacción y la refrigeración del edificio.

Intercambiador geotérmico integrado en las cimentaciones del aparcamiento del edificio y, mecanismo de inducción para el enfriamiento del terreno contra el aire exterior en los meses de primavera. Ignacio Mendara Arquitecto. Concepción energética ENERES.

Fuente: ENERES/Fernández Molina obras y Servicios.

Rehabilitación del cuartel de Daoíz y Velarde, como Teatro Infantil y Centro Cultural (Ayuntamiento de Madrid)

En este caso se rehabilita un edificio de tipología industrial del siglo XIX, situado en una zona de la ciudad con un patrimonio arquitectónico de construcciones industriales y de servicios. En la rehabilitación se mantienen la fachada de ladrillo y la estructura de cerchas metálicas, se construyen forjados termoactivos, losas de hormigón utilizadas en la climatización del edificio, tanto para la calefacción como para la refrigeración, utilizan la inercia acumulando energía. Se utiliza la geotermia como energía renovable para la calefacción y refrigeración del edificio y también para el pretratamiento térmico en verano e invierno del aire de la ventilación.

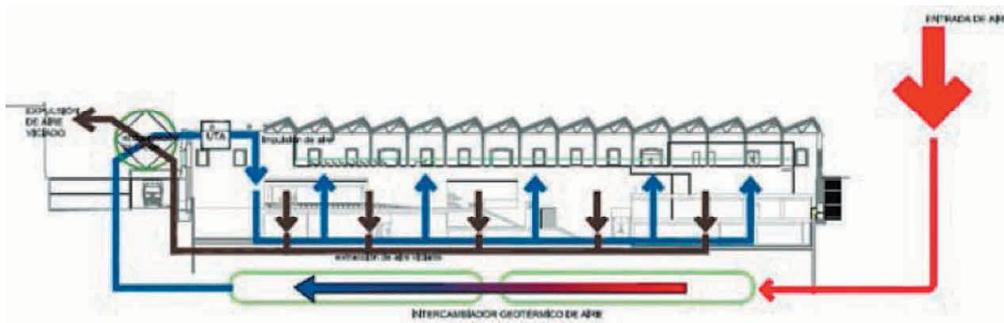


Figura 5.33. Rehabilitación del Cuartel de Daoiz y Velarde para Teatro Infantil. Avenida Ciudad de Barcelona. Madrid.

Esquema del funcionamiento del sistema de renovación de aire con pretratamiento geotérmico y recuperación de energía.

La renovación del aire es en este edificio público de uso infantil, el máximo factor de consumo energético con el máximo potencial de ahorro. Rafael de La Hoz Arquitecto. Concepción energética ENERES.

Fuente: ENERES/Fernández Molina obras y Servicios.

Para hacer un tratamiento del aire primario de renovación, previo a su entrada en los locales a ventilar, se construye un sistema de intercambiador geotérmico tierra-aire con capacidad de 24.000 m³/hora. El sistema de pretratamiento del aire de renovación y la recuperación de la energía del aire expulsado, supone reducir la demanda energética en un 30% de la demanda original sin aplicar tratamiento previo.

Para cubrir la totalidad de la demanda energética del edificio en climatización se construyen 33 intercambiadores verticales geotérmicos con una profundidad de 157 metros y bombas geotérmicas con una potencia en calefacción de 174 kW y 127 kW en refrigeración. Este sistema está asociado al dispositivo inercial de climatización radiante a baja temperatura, los forjados termoactivados. Se consigue un consumo energético de aproximadamente un 40% del que tendría un sistema convencional con caldera y enfriadora. La combinación de ambos factores conjunta reduce el consumo energético en climatización en el edificio de aproximadamente un 70%, 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.

Todos estos sistemas garantizan que los consumos energéticos del edificio sean muy inferiores a los obtenidos con sistemas convencionales. Las exigencias de climatización y calidad del aire se resuelven con eficiencia energética mediante la implantación del intercambiador geotérmico, dotando al edificio con un nuevo uso en el que los niños gozarán de excelentes niveles de confort y salud.

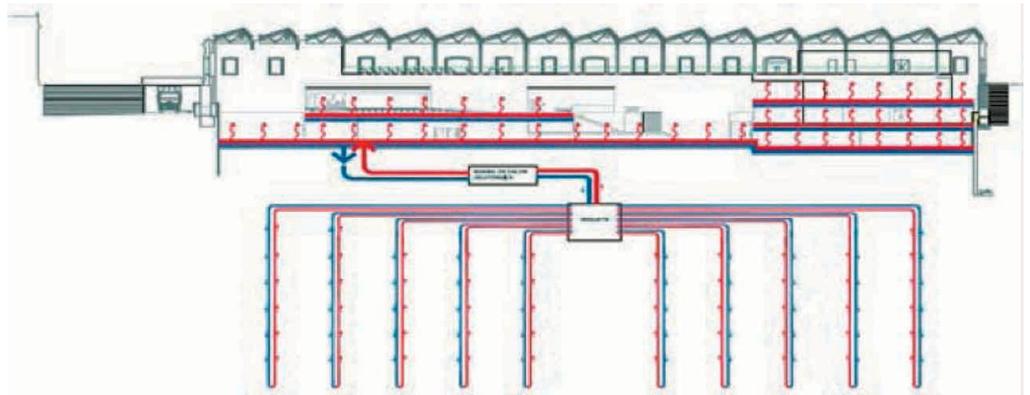
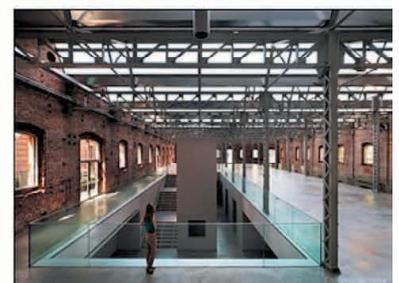
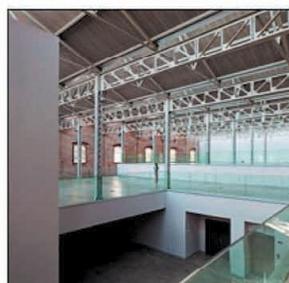


Figura 5.34. Rehabilitación del Cuartel de Daoiz y Velarde para Teatro Infantil. Avenida Ciudad de Barcelona. Madrid. Losas termoactivas e intercambiadores geotérmicos, como sistema inercial, radiante e integrado de climatización del edificio. En el contexto de una ventilación eficiente el sistema geotérmico tiene una enorme efectividad incluso en un edificio con una envolvente poco eficiente térmicamente. Rafael de La Hoz Arquitecto. Concepción energética ENERES. Fuente: ENERES/Fernández Molina obras y Servicios.



Facultad universitaria, CICFANO, en el Campus de la Universidad de Aveiro, Portugal

El Campus de la Universidad está construido junto a la ría de Aveiro, los edificios están cimentados con pilotes que se hunden en un terreno arcilloso fluido. Sin alterar la arquitectura, ya proyectada, hemos dotado a dos facultades universitarias de sistemas termoactivos. Las cimentaciones se han transformado en pilotes termoactivos y las lo-

sas de hormigón se han dotado de circuitos para la calefacción y la refrigeración. A 70 metros del edificio discurre un colector de aguas residuales.

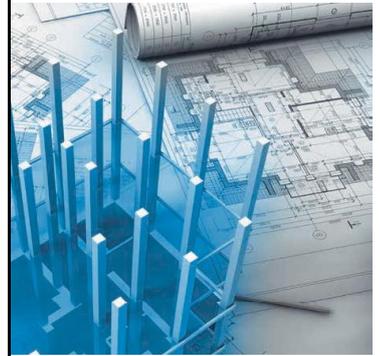
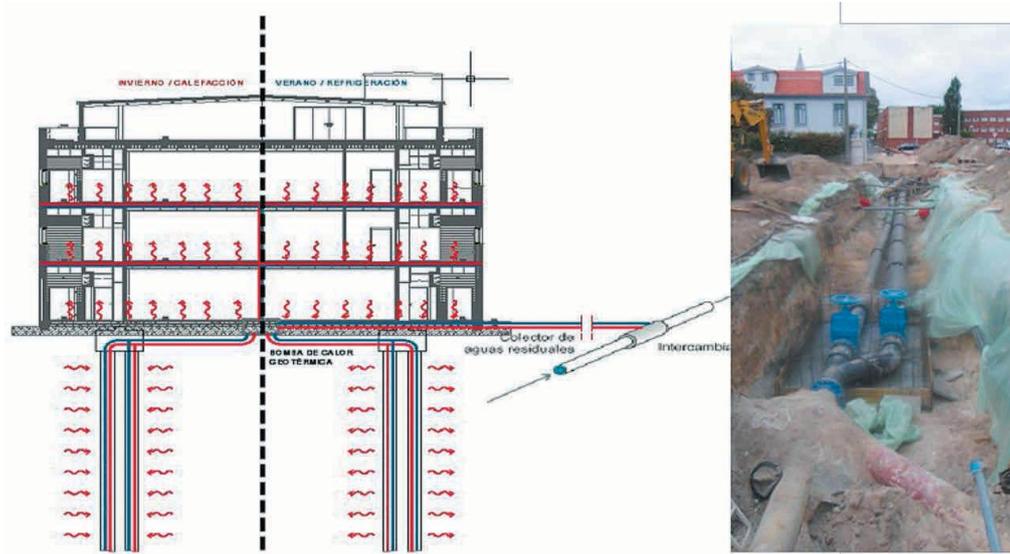


Figura 5.35. CICFANO: El edificio está dotado de sistemas termoactivos para el intercambio geotérmico y la climatización, y además extrae energía de la red de aguas residuales de Aveiro. El calor recuperado lo usa o lo almacena en el terreno mediante los pilotes termoactivos. Esquema del funcionamiento de losas y pilotes termoactivos con el aporte de la red de aguas residuales. Vista del Bypass intercambiador en el colector presurizado de agua residual. Y vista de la ejecución de las losas, preindustrializadas y termoactivas. Joaquim Moráis Oliveira. Arquitecto. Concepción energética ENERES. Fuente: ENERES.

El edificio está conectado a este colector por el que cada segundo se bombean 42 litros de agua residual. Se ha construido un Bypass/intercambiador de energía que permite extraer hasta 100 kW de calor o ceder hasta 160 kW de frío para refrigerar el edificio. Es un recurso constante que se puede aplicar a la climatización usando la bomba de calor, reversible, y las losas termoactivas del edificio o almacenarse en el terreno, bajo el edificio, a través de sus cimentaciones de pilotes termoactivos.



Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios

Todos estos recursos se han integrado en un diseño estructural y arquitectónico existente, sin producir alteraciones al cálculo o a la geometría y aprovechando un enorme potencial de intercambio, almacenamiento y gestión de energía que no iba a ser aprovechado.

La incorporación de estos recursos en el marco de un edificio correctamente aislado, iluminado y ventilado ha resuelto un aumento muy considerable de la calidad y el confort de los usuarios y una reducción del consumo superior al 70% del inicialmente proyectado.

Planta de Germinación para la síntesis de productos biotecnológicos. Cantanhede. Portugal

Emplazado en Cantanhede, una de las zonas industriales de la periferia de Lisboa, el edificio está proyectado para ser un germinador de altramuz, en una planta de biotecnología. Un proceso continuo de diez días de duración y 150 metros de recorrido, en el que al material vivo se incorpora agua y calor para mantener un ambiente estable a 20 °C, rico en oxígeno y permanentemente iluminado.

El edificio se diseña como un enorme captador de hormigón prefabricado. Su forma plegada le aporta rigidez con la masa justa, y le permite ser un captador de calor solar, radiación fotovoltaica y agua de lluvia. Recursos que almacena y consume.

Toda la masa de hormigón estructural está activada, dotada de circuitos de PX por los que fluye la energía captada en el medio. La temperatura constante del producto y del aire interior se asegura mediante la activación de cientos de toneladas de hormigón que modulan con su inercia la temperatura y la radiación térmica sobre las plantas.

El proceso de germinación exige una renovación de aire constante para asegurar la riqueza en oxígeno del aire y para evacuar una importante cantidad de CO₂, aplicable al proceso de una planta de producción de quesos y lácteos próxima. El pretratamiento del aire captado en el exterior es geotérmico, bajo el edificio y la recuperación de energía del aire extraído asegura la eficiencia y muy bajo consumo del proceso de renovación y control de la calidad del aire.

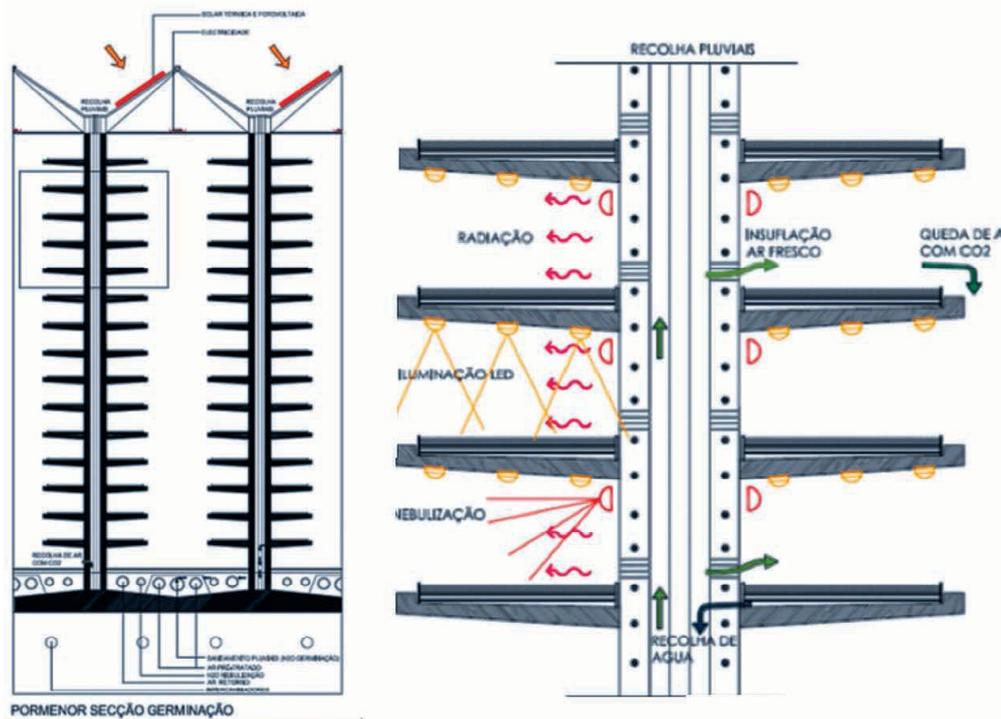
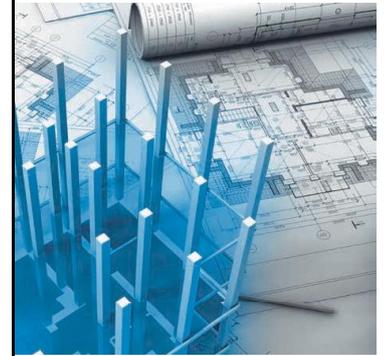
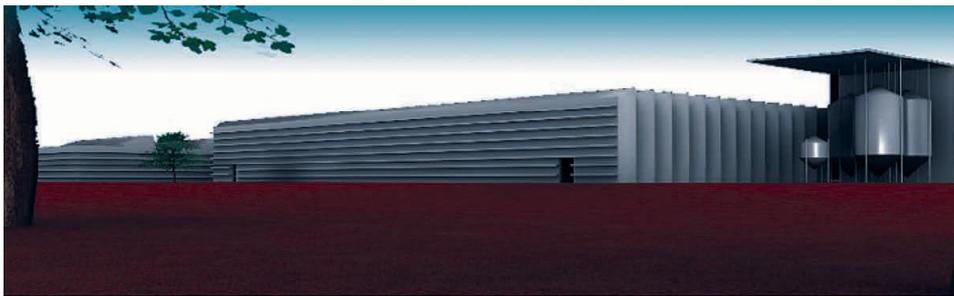
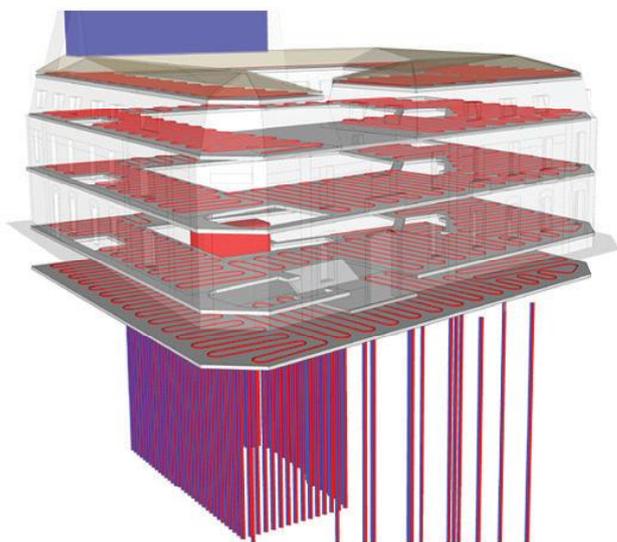


Figura 5.36. Vista general, sección transversal por un tramo del edificio y detalle de la estructura, de la Planta Biotecnológica, en Cantanhede, Lisboa. El edificio está concebido como un captador de agua pluvial, radiación solar y calor. Todos esos recursos se aplican al proceso de germinación y la estructura prefabricada de hormigón, termoactiva, regula el flujo de energía y estabiliza en 20 °C la temperatura del proceso con toda su carga inercial. Luis de Pereda. Manuel Mallo. Ana Roboredo. Arquitectos. Fuente: ENERES.

La integración de todos los elementos en la estructura del edificio aporta una simplicidad e higiene al proceso que es un factor muy importante de calidad y rendimiento. La opción por una perfecta gestión y utilización de recursos del medio redunda en la economía y calidad del proceso.

La única empresa que resuelve el aprovechamiento integral de todo el potencial de los recursos geotérmicos en la edificación

- * Almacenamiento y transformación de energía de baja temperatura
- * Climatización inercial con estructuras termoactivas
- * Recuperación y aprovechamiento de energías residuales
- * Intercambio con bomba de calor geotérmica
- * Intercambio y tratamiento térmico del aire
- * Calidad y bajo consumo en la climatización y la renovación del aire



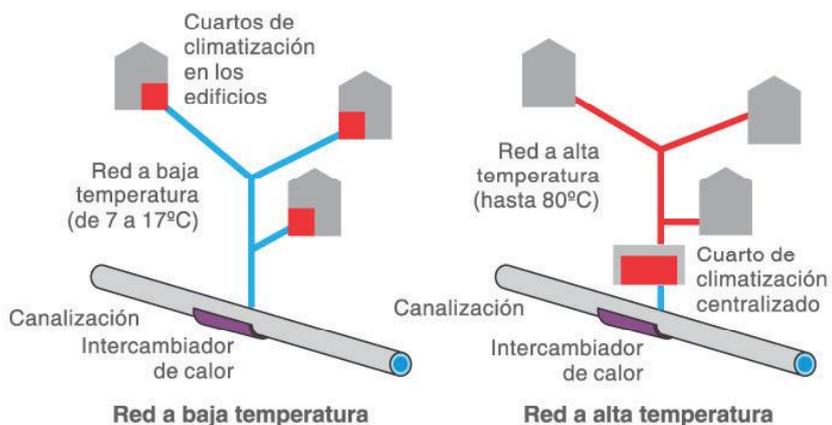
Integración de sistemas de intercambio geotérmico y estructuras termoactivas en la rehabilitación de un palacio para oficinas de la Administración. Madrid.



Integración de sistemas geotérmicos tierra-aire y tierra-agua en la rehabilitación de un edificio para teatro infantil. Madrid.



Intercambiador de energía integrado en un conducto enterrado de aguas residuales.



Integración de intercambiadores de calor en conducciones de aguas residuales.



Sistemas de Climatización Invisible por suelo radiante

1



Sistemas de conexión RTM para radiadores

5



Sistemas de Climatización Invisible por techo radiante

2



Sistemas de Fontanería con Prestaciones de Protección Contra Incendios

6



Sistemas de Control Inteligente para instalaciones de Climatización Invisible

3



Sistemas preaislados LHD

7



Sistemas de fontanería Quick & Easy

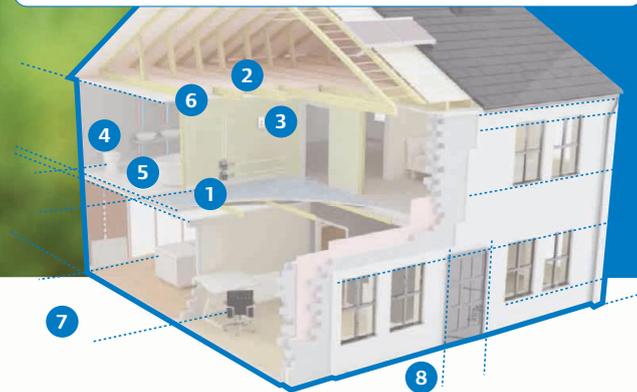
4



Sistemas Geotérmicos

8

SOLUCIONES **Uponor**



Mejoramos la calidad de vida de las personas

- Líderes en soluciones para el transporte de fluidos en la edificación y soluciones de Climatización Invisible para los segmentos residencial, no residencial e industrial en Europa y Estados Unidos.
- Presentes en 30 países.
- Desarrollamos soluciones respetuosas con el medioambiente que reducen el consumo de energía, facilitan el trabajo de quiénes las proyectan e instalan y aportan un mayor confort a los usuarios finales.

Para más información contacta con nosotros:
T. 902 100 240
www.uponor.es
www.climatizacioninvisible.es

nos puedes seguir en:



www.eficienciaenergeticauponor.com

Uponor
simply more



Sistema de Forjados Activos Thermally Active Building System, (TABS)

Los Sistemas de Forjados Activos Uponor se integran en el interior de la propia estructura del edificio y aprovechan la inercia térmica del hormigón para aportar un valor diferenciador a su proyecto.

- Reducción del consumo energético destinado a la climatización de las instalaciones.
- Mejora de la calidad ambiental y estado de confort de los usuarios.
- Disminución de los costes de instalación en hasta un 50%, gracias a su construcción prefabricada.
- Disminución de los costes operativos y de mantenimiento en hasta un 50% en comparación con otros sistemas tradicionales.
- Ideal para combinar con fuentes de energías renovables como los sistemas de Geotermia Uponor.

Para más información contacta con nosotros:
T. 902 100 240
www.uponor.es
www.climatizacioninvisible.es

nos puedes seguir en:



www.eficienciaenergeticauponor.com

Uponor
simply more



Fundación de la Energía de
la Comunidad de Madrid

Energy Management Agency

Intelligent Energy  Europe

www.fenercom.com



uponor

