



EL DISEÑO DE SISTEMAS HIDRÓNICOS DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN DE ELEVADO SALTO TÉRMICO

Este documento describe las principales ventajas económicas y energéticas del diseño de sistemas hidráulicos de calefacción y refrigeración con un alto salto térmico.

Este enfoque de instalación tiene como consecuencia directa la reducción del caudal de agua que circula por las tuberías del sistema y, por consiguiente:

- La reducción del diámetro de las tuberías del sistema hidráulico de distribución, con las mismas pérdidas de carga distribuidas y concentradas (ahorro de dinero en la inversión inicial);
- La reducción de los costes de bombeo necesarios para mover el fluido termovector agua, tanto en funcionamiento de verano como de invierno (ahorro económico en el funcionamiento de la planta).

La reducción de costes que puede lograrse, tanto en la fase inicial como durante el funcionamiento, puede reinvertirse para llevar a cabo otras intervenciones técnicas destinadas a aumentar la eficiencia energética del sistema edificio-instalación, el uso de fuentes de energía renovables adicionales y/o la instalación de sistemas de purificación del aire (un tema muy actual dada la situación de pandemia relacionada con la propagación del virus SARS-COV2).

SUMARIO

Capítulo 1	
Introducción.....	3
Capítulo 2	
Estudio de caso - Edificio de referencia.....	5
Capítulo 3	
Estudio de caso - Instalaciones de referencia	7
Capítulo 4	
Estudio de caso - Datos climáticos y carga de la instalación	12
Capítulo 5	
Análisis de los costes fijos.....	14
Capítulo 6	
Análisis de los costes variables	16
Capítulo 7	
Análisis energético de la central termofrigorífica.....	17
Capítulo 8	
Análisis económico: Valor Actual Neto (VAN)	20
Capítulo 9	
Conclusiones	22



La colección "Technical Focus" se propone ofrecer un ejemplo de las posibles ventajas derivadas del uso de las soluciones innovadoras Aermec.

Visto que los datos y los resultados presentados en la publicación se refieren a edificios y situaciones específicas, pueden variar sustancialmente dependiendo de las aplicaciones y del uso. Por esta razón los cálculos y las consideraciones efectuadas en este documento de ningún modo pueden sustituir la tarea de diseño del profesional termotécnico.

Aermec se reserva el derecho de realizar en cualquier momento todas las modificaciones que considere necesarias para mejorar el producto, pudiendo modificar los datos técnicos publicados.

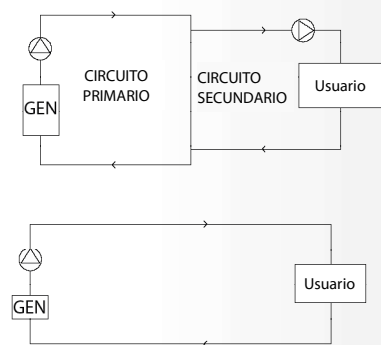
© 2013 Aermec, All right reserved.

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

¿POR QUÉ ELEGIR SISTEMAS HIDRÓNICOS DE CLIMATIZACIÓN CON ELEVADO SALTO TÉRMICO?

Al diseñar los sistemas con un salto térmico elevado, no se compromete la seguridad del generador o de otros componentes del sistema, sino que se puede mantener un alto nivel de confort termohigrométrico y, al mismo tiempo, se puede aumentar la eficiencia de todo el sistema, reduciendo la inversión inicial y los costes de funcionamiento correspondientes.



$$P = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

P = potencia termo-frigorífica [kW]

\dot{m} = caudal de agua [$\frac{m^3}{h}$]

c_p = calor específico [$\frac{kJ}{kg \cdot K}$]

ΔT = diferencia de temperatura [K]

$$P = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{\eta}$$

P = potencia de bombeo [kW]

\dot{V} = caudal de agua [$\frac{m^3}{h}$]

Δp = prevalencia estática útil [kPa]

η = rendimiento de la unidad de bombeo

La creciente atención al ahorro energético en el ámbito civil ha llevado a los expertos del sector termotécnico a estudiar nuevas soluciones para lograr una mayor eficiencia energética en los sistemas de climatización, ventilación y producción de ACS. Aermec ha respondido a esta necesidad actualizando su catálogo con unidades equipadas con componentes de vanguardia (inversores, válvulas electrónicas de control, gases alternativos, regulación avanzada) y proponiendo nuevas soluciones tanto en términos de generadores de potencia de calefacción y refrigeración (inyección de vapor, polivalentes, free cooling, etc.) como en términos de unidades terminales (fancoils con efecto radiante, dual jet, etc.).

Además de las soluciones aplicadas por los fabricantes, otros profesionales del sector (diseñadores, arquitectos e instaladores) también han tenido que adaptar sus elecciones de diseño y construcción para lograr estos objetivos, analizando todos los componentes que conforman el sistema instalación-edificio.

En los sistemas hidráulicos, el sistema de distribución del fluido termovector no puede quedar exento de este análisis, ya que representa una partida importante de gasto energético.

Por ello, una de las principales soluciones utilizadas para reducir los costes de bombeo es el uso de bombas de circulación de velocidad variable, que permiten modular el caudal de agua que circula por el sistema.

Los sistemas de caudal de agua variable pueden dividirse en dos macrocategorías:

- Instalaciones de doble anillo: caracterizadas por un anillo primario, mantenido a caudal constante, entre el generador y el disyuntor hidráulico y un anillo secundario, de caudal variable, entre el disyuntor y los terminales. Estas soluciones no presentan ninguna criticidad en los intercambiadores de los generadores, que siempre son atravesados por el mismo caudal de agua.

- Instalaciones de anillo único: consistente en un único anillo que funciona con caudales variables en función de las necesidades de potencia en los terminales. Necesitan un sistema de regulación que gestione el caudal de agua en el generador para evitar problemas relacionados con la posible variación repentina del caudal de agua en los intercambiadores de bombas de calor y enfriadoras.

Los puntos críticos de la segunda solución descrita están relacionados con la complejidad del sistema de regulación y la posible reducción repentina del caudal de agua en el intercambiador del lado instalación de los generadores. El peligro está relacionado con la posibilidad de que el sistema de control no sea capaz de seguir esta variación cuando la demanda de potencia térmica y frigorífica de los usuarios es extremadamente variable. El riesgo es generar grandes inestabilidades en el funcionamiento de las bombas de calor y las enfriadoras y, en el peor de los casos, provocar la aspiración de gas refrigerante líquido por parte de los compresores en funcionamiento en frío.

Estos puntos críticos han llevado a estudiar y analizar otras soluciones que permitan el mismo ahorro sin alterar el funcionamiento y la vida útil de los propios generadores.

La solución alternativa a los sistemas de caudal variable en el primario que está ganando popularidad son los sistemas con un elevado salto térmico. Esta lógica de diseño implica el dimensionamiento de los distintos componentes considerando una mayor diferencia de temperatura entre el envío y el retorno del fluido termovector, con la consiguiente reducción del caudal de agua que circula por el sistema de distribución, que se mantiene constante en el bucle primario.

Para simplificar, en este documento llamaremos a esta solución técnica "sistemas de alto ΔT ".

El análisis tecno-económico de este documento ilustrará los resultados de la comparación de dos soluciones de diseño diferentes, destacando las principales ventajas de la solución de alto ΔT para el estudio de caso de un edificio de oficinas, donde el canónico $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$ ha sido sustituido por $\Delta T = 8^{\circ}\text{C}$.

Este aumento del salto térmico es limitado y no requiere el estudio de geometrías y circuitos especiales de bobinas de intercambio de calor para bombas de calor y fan coils.

En igualdad de condiciones, el aumento del salto térmico sobre el agua y, en consecuencia, de la diferencia de temperatura media logarítmica entre los dos fluidos (aire/agua), conlleva una ligera reducción de la capacidad de deshumidificación: en caso necesario, el tamaño de los terminales debe optimizarse para garantizar las condiciones de confort deseadas.

Se presenta así una comparación entre los resultados de las dos soluciones $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$ y $\Delta T = 8^{\circ}\text{C}$, mostrando cómo, incluso con un aumento tan pequeño del salto térmico del fluido termovector, es posible conseguir un ahorro económico y energético bastante interesante.

Capítulo 2

ESTUDIO DE CASO - EDIFICIO DE REFERENCIA

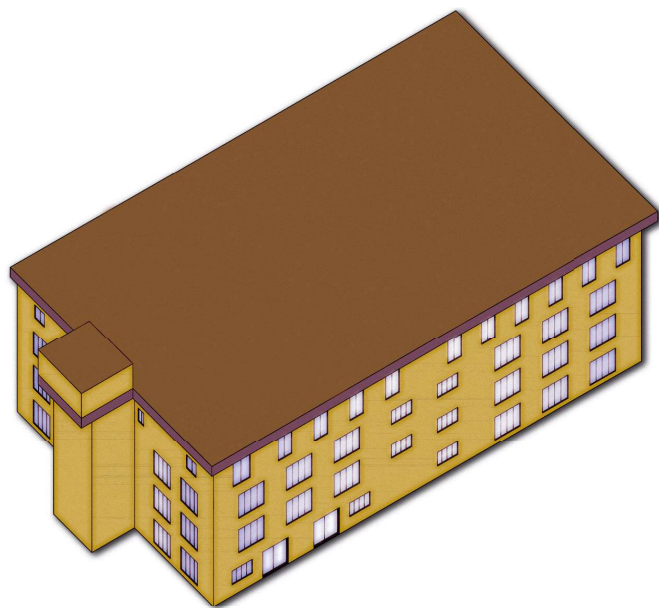
El edificio de referencia es una construcción nueva destinada a oficinas y se caracteriza por una superficie de 5600 m² dividida en 5 plantas, una de las cuales es un sótano para el garaje y las salas técnicas. El edificio de este estudio de caso está situado en Barcelona.

A continuación se muestran las características de la envolvente del edificio:

- Las superficies verticales opacas consisten en una capa de bloques perforados de 20 cm de espesor y una capa de poliestireno expandido de 11 cm de espesor (además del revoque interno y externo). La estratigrafía así compuesta da como resultado una transmitancia total de 0,25 W/m²K.
- Las superficies horizontales opacas están formadas por paneles rígidos de fibra mineral de roca de 10 cm de espesor y una doble capa de 15 cm cada una de material celular autoclave (además del mortero interior y exterior). La transmitancia alcanzada en este caso es igual a 0,22 W/m²K.
- Las superficies transparentes están compuestas por un triple acristalamiento con tratamiento superficial de baja emisión de Argón, que tiene una transmitancia de 1,2 W/m²K.



Figura 1
Vista axonométrica del edificio.



El edificio consta de 4 plantas sobre rasante divididas de la siguiente manera:

- Planta baja: vestíbulo, tres salas diáfanas, cada una con su propia sala de reuniones y despacho de dirección;
- 1ª y 2ª planta: cuatro salas diáfanas, cada una con su propia sala de reuniones y despacho de dirección;
- Planta 3ª: oficinas individuales y dobles con la adición de dos grandes salas de reuniones y dos salas de ocio.

Figura 2
Distribución de la planta baja

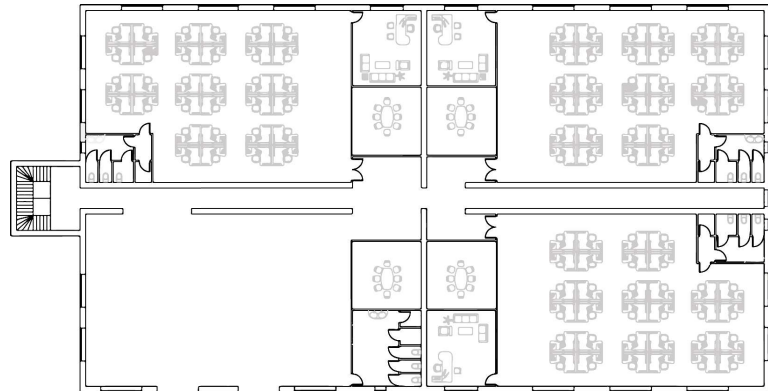


Figura 3
Distribución de la 1ª y 2ª planta

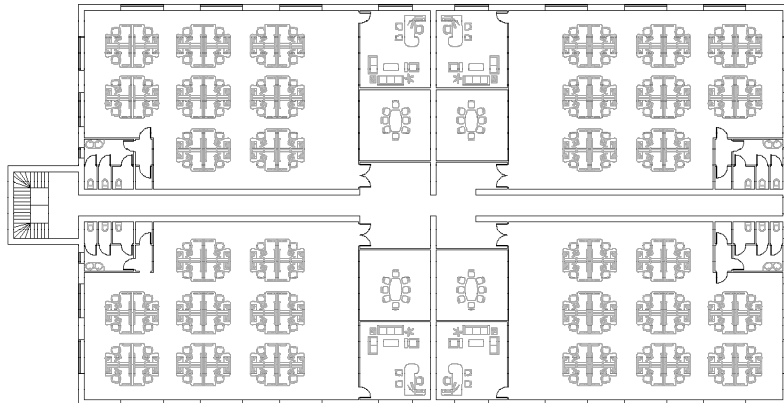
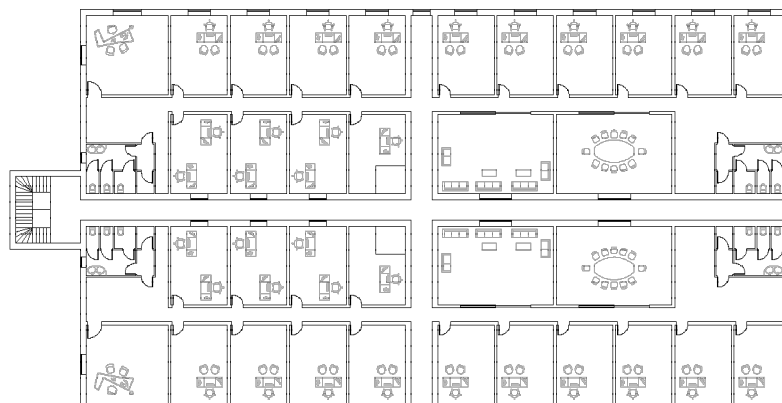


Figura 4
Distribución de la 3ª planta



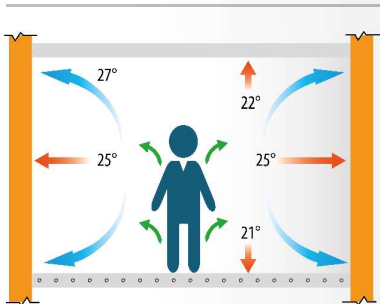
Capítulo 3

BIENESTAR TERMOHIGROMÉTRICO

Estado psicofísico en el que el sujeto expresa su satisfacción con el entorno térmico.

ENTORNO TÉRMICO

Conjunto de parámetros ambientales que definen la sensación térmica experimentada por un sujeto cuando se expone a determinadas condiciones termohigrométricas.



ESTUDIO DE CASO - INSTALACIÓN DE REFERENCIA

El primer objetivo de un sistema de climatización es garantizar unas condiciones termohigrométricas adecuadas en el interior de las habitaciones ocupadas, así como la calidad del aire para los ocupantes. Tampoco hay que descuidar el confort acústico y lumínico, esencial para el bienestar de las personas.

Esto es especialmente evidente en los entornos de trabajo, donde varios estudios muestran una correlación directa entre el confort termohigrométrico y la productividad laboral. Por lo tanto, es esencial elegir el tipo de instalación adecuado para esta aplicación.

En un edificio de oficinas, se pueden prever los siguientes tipos de instalaciones:

- Instalaciones aire-aire;
- Instalación mixta aire e hidráulica
- Instalación mixta de expansión directa y aire.

La solución propuesta en este estudio de caso es la segunda. Se trata de un sistema hidráulico formado por fan coils, dimensionados para reducir las cargas sensibles y latentes desarrolladas en las estancias a climatizar, combinado con un sistema de aire formado por UTAs, una por planta, con el objetivo de garantizar unas condiciones de calidad de aire adecuadas.

De hecho, esta solución permite obtener muchas ventajas:

- Alta eficiencia (eligiendo las temperaturas de suministro adecuadas);
- Reducción del espacio ocupado por el sistema de distribución de aire (en comparación con un sistema "aire-aire");
- Gran flexibilidad de funcionamiento (en comparación con un sistema de expansión directa);
- Capacidad de integrar diferentes fuentes de energía (fósiles y renovables) en el subsistema de generación;
- Reducción de los costes de mantenimiento ordinario/extraordinario (en comparación con una solución de expansión directa).

En cuanto a la distribución hidráulica, la instalación se ha desarrollado en doble anillo.

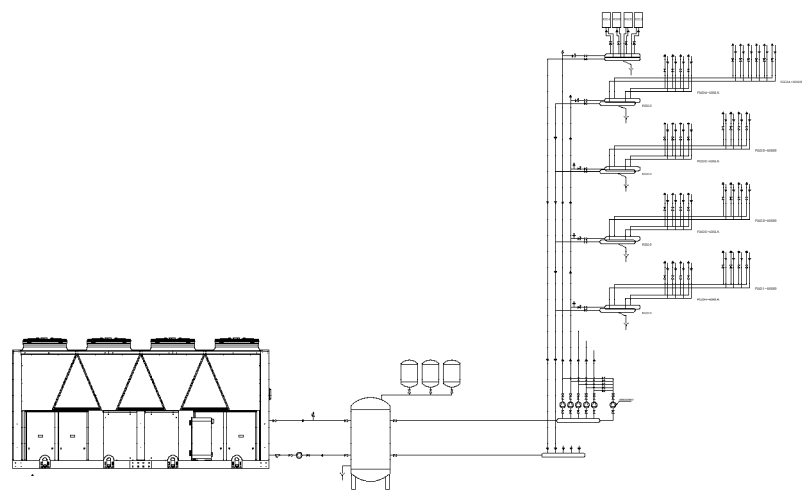
El anillo primario está formado por una bomba de calor aire-agua y todos los componentes hidráulicos necesarios para su correcto funcionamiento: acumulador inercial de tamaño adecuado para garantizar un contenido de agua suficiente, dispositivos de seguridad (válvulas, vaso de expansión, etc.) y sistema de circulación con velocidad fija.



Figura 5
Esquema funcional del sistema de distribución de agua.

El anillo secundario consta de 5 circuitos hidráulicos diferentes, cada uno con su propia bomba de circulación de velocidad variable: cuatro de ellos son los circuitos de columnas que forman las dorsales noreste, noroeste, sureste y suroeste del edificio, mientras que el quinto es un circuito de columnas dedicado al sistema de renovación de aire. Además, hay un circuito equipado con una bomba de circulación que actúa como reserva.

A través de un colector de distribución, cada columna alimenta los terminales de pared o de las cajas de piso de la sección correspondiente en las distintas salas (salas diáfanas, oficinas individuales/dobles, salas de reuniones), mientras que el circuito dedicado al sistema de ventilación alimenta las baterías de las UTA.



FCZI
Fan coil con tecnología Inverter



FCLI
Ventiladores de cassette con tecnología Inverter



Terminales hidráulicos

Las salas diáfanas y las salas de reunión están climatizadas con fan coils inverter de cassette (serie FCLI de Aermec) que garantizan una buena uniformidad de la temperatura y evitan ocupar espacio en el suelo, dejando más libertad para cambiar la distribución. La altura de las habitaciones no supera los 3 m, por lo que no hay problemas de estratificación de la temperatura del aire en la temporada de invierno. La elección recayó en los terminales equipados con ventiladores inverter que, gracias a la modulación continua de la velocidad, permiten un control más fino del punto de ajuste y un mejor rendimiento acústico. La zona de oficinas individuales/dobles se climatiza mediante fan coils inverter verticales de suelo (serie Aermec FCZI). Una vez más, se prefirió la elección de terminales equipados con ventiladores inverter para maximizar el confort acústico y minimizar la desviación del punto de ajuste.

Figura 6
Esquema de distribución hidrónica
Planta baja

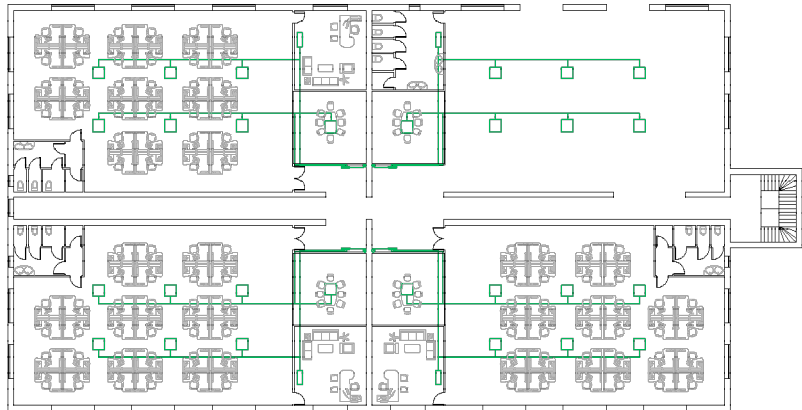


Figura 7
Esquema de distribución hidrónica
1ª y 2ª planta

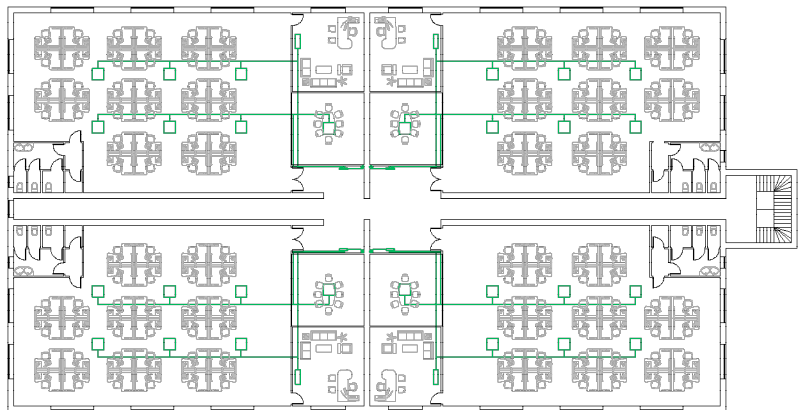
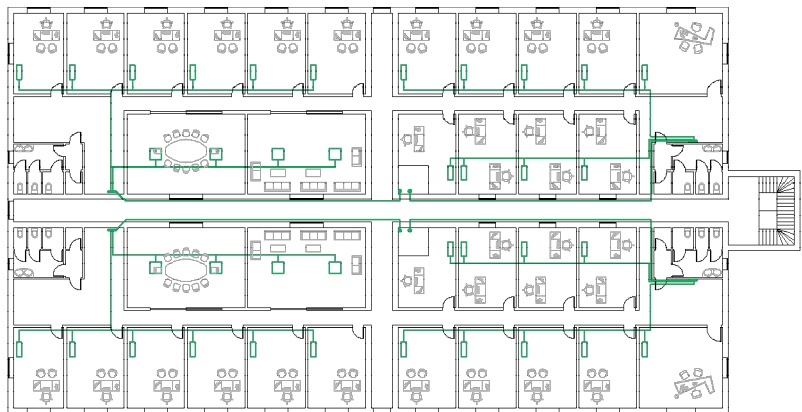


Figura 8
Esquema de distribución hidrónica
Planta 3ª



ERSR - Unidad de recuperación de calor rotativa interior o exterior de alta eficiencia.



Clase	ISO ePM ₁	ISO ePM _{2,5}	ISO ePM ₁₀	ISO COARSE
G3	/	/	/	> 80%
G4	/	/	/	> 90%
M5	/	/	> 50%	/
M6	/	30 - 65%	> 60%	/
F7	50 - 65%	65 - 80%	> 85%	/
F8	65 - 80%	< 80%	> 90%	/
F9	< 80%	< 95%	> 95%	/

Figura 9
Diagrama de distribución del aire
Planta baja

Figura 10
Diagrama de distribución del aire
1ª y 2ª planta

Figura 11
Diagrama de distribución del aire
Planta 3ª.

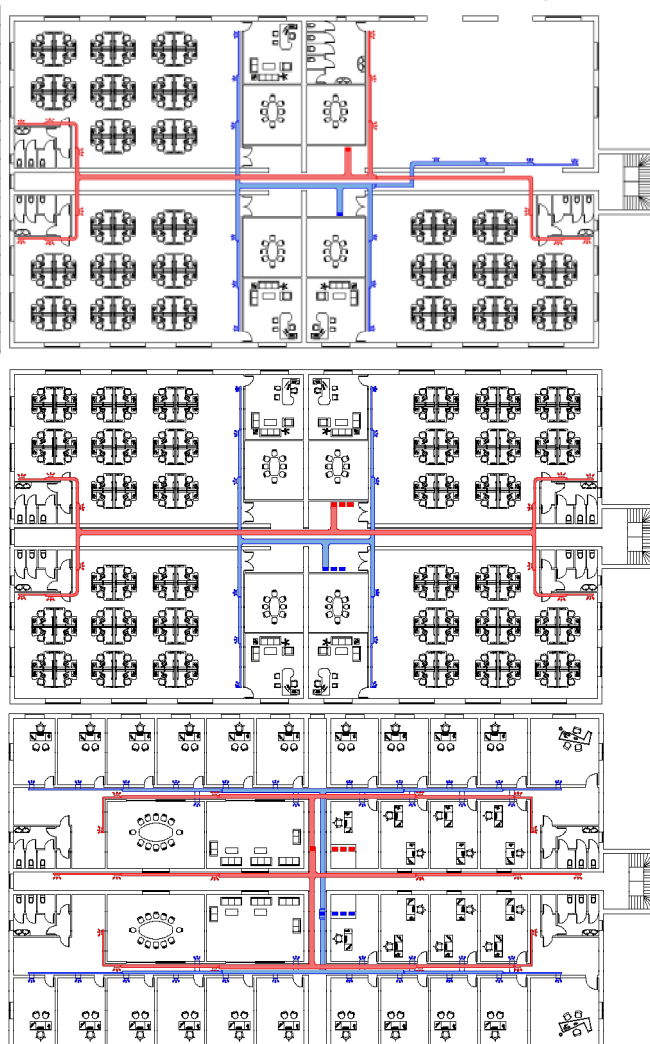
Ventilación mecánica controlada

El sistema de renovación de aire consta de 4 UTA (serie ERSR de Aermec), una por planta, instaladas en el tejado.

Tienen las siguientes características:

- Elaboración de 4800 m³/h por planta de aire exterior (36 m³/h por persona) mediante ventiladores de tapón controlados electrónicamente tanto en el envío como en el retorno de aire;
- Subsistema de recuperación de energía consistente en un intercambiador de calor entálpico rotativo, que permite recuperar del aire de escape tanto la energía sensible como la latente, que de otro modo se dispersaría en el exterior;
- Baterías de tratamiento de aire integradas que permiten introducir aire neutro en las habitaciones reduciendo las cargas térmicas debidas a la ventilación;
- Subsistema de filtración de aire consistente en filtros de grado F7 (a valorar en caso de emergencia sanitaria, la posibilidad de instalar sistemas adicionales de higienización en el conducto como filtros absolutos, lámparas UV-C y/o dispositivos de efecto fotocatalítico)

La unidad también cuenta con un sistema de control integrado.



Sistema de generación

Excluyendo el uso de una solución de enfriadora más caldera, que actualmente es difícil de proponer para edificios nuevos con objetivos energéticos elevados, la elección recayó en la tecnología de la bomba de calor.

Hay diferentes tipos de bombas de calor: con compresores scroll o de tornillo, con modulación escalonada o continua, con intercambiadores de calor de placas o de carcasa y tubos, etc.

Se debe realizar un análisis inicial para la selección de la bomba de calor en función de la fuente disponible y del lugar de instalación.

Si se dispone de agua subterránea o si hay espacio para la instalación de un parque de sondas geotérmicas, una bomba de calor agua-agua podría ser una opción viable si los costes de extracción o excavación no son demasiado elevados. Esta solución, además de ser más compacta y silenciosa, suele ser más eficiente.

El edificio está situado en Barcelona: para que el estudio de caso fuera lo más general posible, se partió de la base de que no era posible utilizar el agua subterránea como fuente de calor, recurriendo a una bomba de calor aire-agua.

En algunos casos, por falta de espacio técnico o por limitaciones acústicas-visuales, las unidades aire-agua no pueden instalarse en el exterior. Para responder a esta necesidad, desde hace varios años el catálogo Aermec incluye unidades interiores aire-agua (series Aermec CL-H y NLC-H) equipadas con ventiladores centrífugos EC de alta prevalencia que permiten instalar las unidades en el interior de los locales técnicos, canalizando el aire tratado hacia el exterior. Para instalar estas máquinas en salas técnicas internas, se requiere una ventilación adecuada de la sala para evitar la despresurización del ambiente. Hay que destacar que los ventiladores centrífugos, con el mismo caudal que los axiales, al suministrar una mayor prevalencia, suelen presentar un mayor consumo de energía.

En este caso concreto, se decidió utilizar una bomba de calor aire-agua clásica de la serie NRB-H de Aermec, equipada con compresores scroll en configuración tándem, intercambiadores de placas soldadas, baterías con aletas y ventiladores axiales inverter en configuración V-Block. Esta solución es la más popular para la instalación en exteriores.

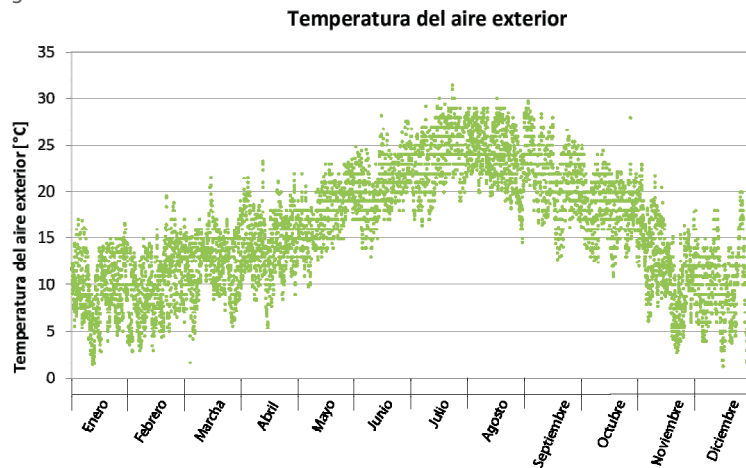


Figura 12
Perfil horario anual de las temperaturas de Barcelona.

Capítulo 4

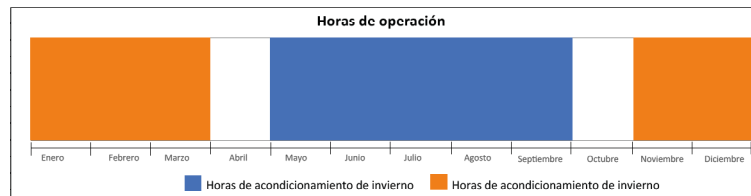
ESTUDIO DE CASO - DATOS CLIMÁTICOS Y CARGA DE LA INSTALACIÓN

El edificio analizado está situado en Barcelona.
El perfil climático horario anual de la ciudad de Barcelona se muestra en el siguiente diagrama.



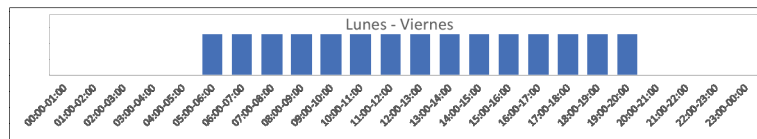
El funcionamiento en caliente de la bomba de calor está activo en la temporada de invierno del 1 de noviembre al 31 de marzo, y el funcionamiento en frío del 1 de mayo al 30 de septiembre.

Figura 13
Calendario anual de activación de la instalación.



La instalación funciona los días laborables durante 15 horas al día, de 5 a 20 horas. Esta programación permite precalentar el edificio en invierno y preenfriarlo en verano desde las primeras horas de la mañana, para garantizar las condiciones de confort termohigrométrico de los empleados desde su entrada al trabajo.

Figura 14
Calendario semanal de activación de la instalación.



Zona climática D



La carga total sensible y latente, dada por la suma de las cargas de las habitaciones individuales, se obtuvo fijando los siguientes parámetros termohigrométricos en las habitaciones ocupadas por los empleados:

- VERANO: T = 26°C, HR = 50%
- INVIERNO: T = 20°C, HR = 50%

En el cálculo se han tenido en cuenta los siguientes flujos térmicos sensibles:

- Transmisión de calor a través de superficies opacas y transparentes
- Radiación a través de superficies transparentes
- Ventilación forzada y aireación
- Cargas internas debido a personas y equipos eléctricos

Las cargas latentes, en cambio, están relacionadas exclusivamente con la presencia de personas en los ambientes, la ventilación y la aireación.

Figura 15
Perfil de carga horaria anual de la instalación en frío.

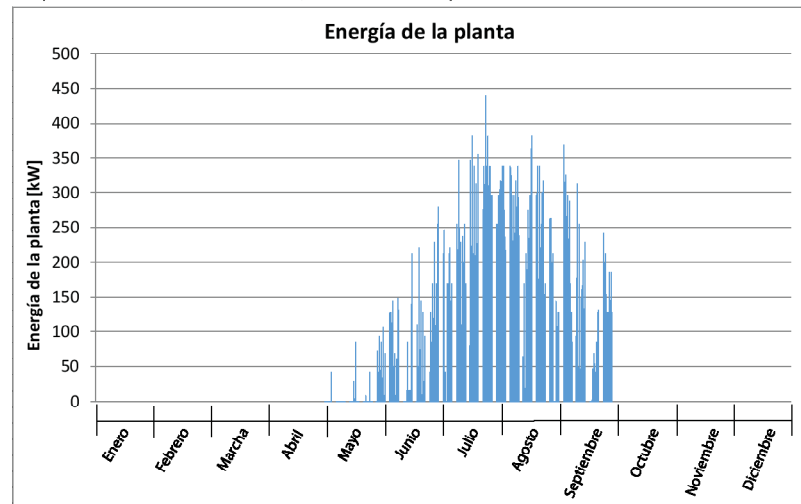
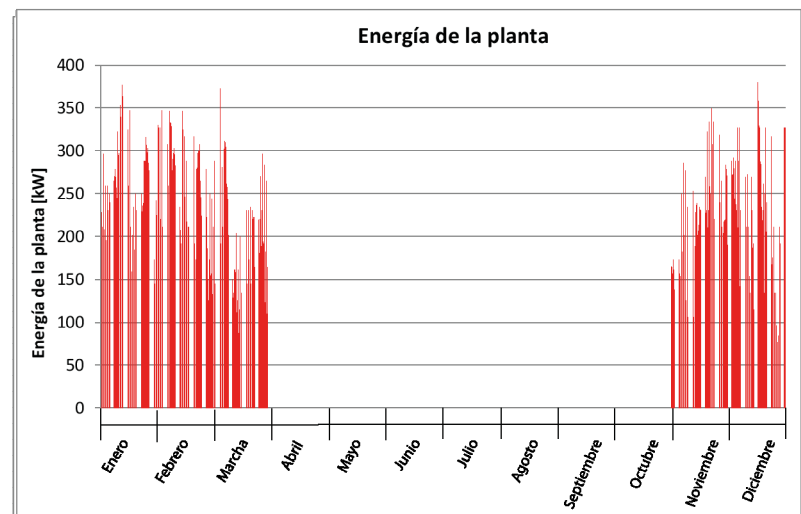


Figura 16
Perfil de carga horaria anual de la instalación en caliente.



Capítulo 5

ANÁLISIS DE LOS COSTES FIJOS

Para dimensionar las tuberías que componen el sistema de distribución hidrónico, para el que se ha elegido el tipo multicapa, es necesario determinar el caudal de agua para cada ramal y establecer el rango de pérdidas de carga lineales de diseño, en este caso elegido como 20-35 mm c.a./m.

El caudal de agua que circula por cada ramal del sistema hidrónico se ha calculado a partir de la definición de la temperatura de suministro de agua a los terminales y del correspondiente salto térmico.

Tabla 1
Coste total de las tuberías con $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$.
*= Euros por metro lineal instalado.

DIÁMETRO TUBERÍA	LARGO (m)	Coste lineal MULTICAPA (€/m)*	Coste total MULTICAPA (€)
20/15	119	2,77	329
26/20	647	3,87	2.506
32/26	640	6,14	3.932
40/33	665	12,83	8.533
50/42	71	21,16	1.502
63/51	44	31,07	1.367
75/60	75	56,17	4.213
90/73	90	75,19	6.767

TOTAL	29.150 €
--------------	-----------------

Tabla 2
Coste total de las tuberías con $\Delta T=8^{\circ}\text{C}$.
*= Euros por metro lineal instalado.

DIÁMETRO TUBERÍA	LARGO (m)	Coste lineal MULTICAPA (€/m)*	Coste total MULTICAPA (€)
20/15	697	2,77	1.929
26/20	454	3,87	1.759
32/26	1002	6,14	6.156
40/33	45	12,83	577
50/42	30	21,16	635
63/51	75	31,07	2.330
75/60	90	56,17	5.055

TOTAL	18.441 €
--------------	-----------------

La reducción del diámetro de las tuberías conlleva una disminución de la cantidad de aislamiento necesaria para limitar las pérdidas de calor del fluido termovector hacia el exterior y evitar la formación de condensación en la superficie de las propias tuberías.

Configurando un salto térmico estándar ($\Delta T=5^{\circ}\text{C}$), el tamaño de todas las baterías de los terminales es tal que asegura la correcta eliminación de carga en las diferentes habitaciones, pero resulta en un mayor caudal de suministro. Configurando un salto térmico aumentado ($\Delta T=8^{\circ}\text{C}$), se ha optimizado el tamaño de las unidades de fan coil de mueble para las oficinas, a fin de garantizar una reducción adecuada de la carga latente: sin embargo, esta elección permite reducir el caudal de agua que circula por la instalación con las mismas pérdidas de carga lineales.

Este diseño permite reducir tanto el tamaño de las bombas de circulación como la sección de las tuberías de distribución con el correspondiente aislamiento, con un ahorro nada desdeñable en los costes de inversión iniciales que, a la larga, puede reinvertirse en soluciones de mayor eficiencia energética.

Tabla 3
Coste de los sistemas de emisión y distribución

	Costo de los elementos de la planta HVAC $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$ (€)	Costo de los elementos de la planta HVAC $\Delta T=8^{\circ}\text{C}$ (€)
FCLI 42	978 (n.20)	978 (n.20)
FCLI 62	1.028 (n.72)	1.028 (n.72)
FCZI 350	564 (n.42)	0
FCZI 400	0	584 (n.42)
ESRS 12	27.786 (n.4)	27.786 (n.4)
TUBERÍA	29.150	18.441
AISLANTE	7.029	5.744
ZAPATILLAS	3.119 (n.6)	2.791 (n.6)
TOTAL	283.320 €	270.199 €

El ahorro total conseguido para el caso de estudio en cuestión, gracias a la reducción del diámetro de las tuberías, es de 13.121 euros, es decir, un 5% de los costes previstos inicialmente, dimensionando la planta con $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$, para los sistemas de distribución y emisión.

Capítulo 6

ANÁLISIS DE LOS COSTES VARIABLES

Mientras que los recuperadores rotativos ERSR se regulan con un caudal de aire constante en función de la lectura de la concentración de CO_2 , para garantizar el aire fresco necesario, los fan coils se gestionan mediante la modulación de los ventiladores. En concreto, los terminales de sala adaptan el caudal de aire procesado en función de la desviación del punto de ajuste: cuando se alcanza la temperatura ambiente deseada, los ventiladores se apagan y las válvulas de dos vías se cierran. En consecuencia, el caudal de agua en el circuito secundario varía en función de la carga.

Al mantener la misma caída de presión lineal, la reducción del caudal de agua ahorra costes de bombeo durante todo el funcionamiento de la instalación. Este ahorro es tanto mayor cuanto más pesadas sean las condiciones de funcionamiento (cargas elevadas).

La instalación del estudio de caso se caracteriza por 4 recuperadores rotativos equipados con una batería mixta con válvula modulante y un total de 134 fan coils equipados con válvula on-off de 2 vías.

Por ello, el caudal de agua puede considerarse lineal (línea azul, figura de al lado) en función de la carga de calefacción y refrigeración requerida por el sistema a lo largo del año.

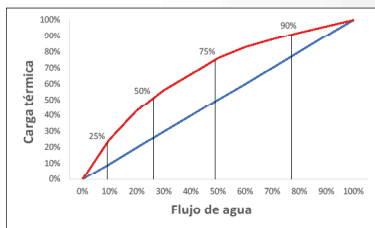
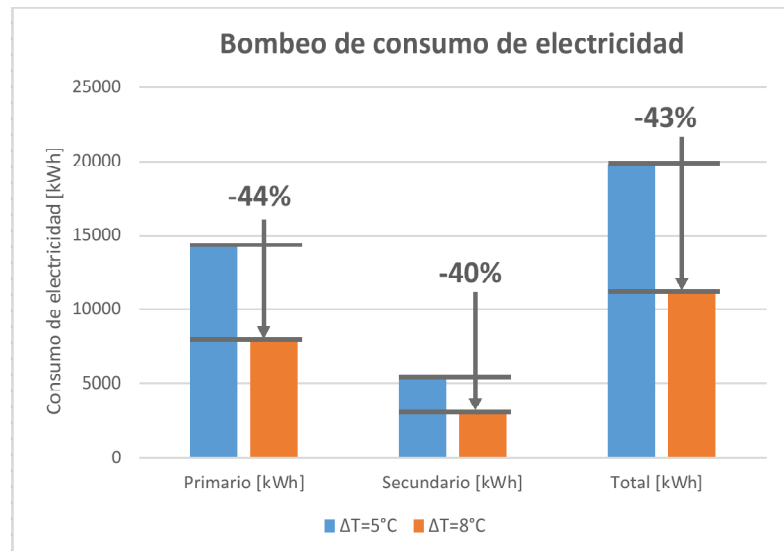


Figura 17
Porcentaje de ahorro de electricidad con un alto ΔT .

Linealizando el caudal de agua en función de las cargas del sistema, que a su vez son directamente proporcionales, en la primera hipótesis, a las temperaturas del aire exterior tanto en la estación de invierno como en la de verano, se ha calculado el ahorro de bombeo que se puede obtener adoptando la nueva lógica de diseño con alto ΔT .



La electricidad relacionada con los costes de bombeo, ahorrada gracias al aumento del salto térmico a 8°C , asciende a 8.600 kWh/año , es decir, un 43% en comparación con lo previsto inicialmente con el dimensionamiento a $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$.

Considerando un coste de la electricidad de $0,21 \text{ €/kWh}$, el ahorro económico anual del bombeo del fluido termovector dentro de la instalación asciende a 1.806 €/año .

Capítulo 7

ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LA CENTRAL TERMOFRIGORÍFICA

El ahorro de costes conseguido al aumentar el salto térmico en la instalación puede reinvertirse inmediatamente en soluciones técnicas más eficientes: aumento del aislamiento de las superficies opacas y transparentes, iluminación LED, aumento de los colectores solares térmicos para la producción de ACS, generadores de alta eficiencia, fan coils de efecto radiante, etc.

Las bombas de calor Aermec pueden configurarse en versiones alternativas a la estándar, para mejorar aún más el rendimiento acústico y energético del sistema de generación. Una solución de alta eficiencia permite reducir el consumo de electricidad y, al mismo tiempo, aumentar la potencia de la bomba de calor.

La bomba de calor aire/agua estándar identificada para adaptarse a la instalación es NRB2000XH⁰⁰⁰⁰⁰⁰. Se trata de una unidad bi-circuito equipada con compresores scroll, válvulas de laminación electrónicas, intercambiador de calor de placas soldadas en el lado instalación, estructuras de ventiladores en V con ventiladores axiales y baterías aleteadas de tubos de cobre y aletas de aluminio.

El generador se ha dimensionado para hacer frente a los picos de carga tanto en verano como en invierno:

Tabla 4
Cargas de pico de verano e invierno

ESTACIÓN	TEMPERATURA EXTERIOR DE DISEÑO(°C)	POTENCIA DE PICO (KW)
Estival	35	440
Invernal	0	380

Figura 18
Bombas de calor serie NRB-H Aermec



La máquina estándar se ajusta, en las condiciones de diseño, a la potencia térmica requerida por el sistema en la temporada de invierno (380 kW), mientras que en la temporada de verano es excedente: a 35°C de aire exterior proporciona una capacidad de refrigeración de 502 kW.

La solución alternativa para aumentar la eficiencia energética del sistema de generación es reinvertir parte del ahorro en la versión de alta eficiencia NRB2000XHA⁰⁰⁰⁰⁰⁰. Esta solución permite a la instalación suministrar 409 kW en caliente y 548 kW en frío en las condiciones de diseño.

Teniendo en cuenta que la bomba de calor de alta eficiencia es excesiva tanto en el funcionamiento de verano como en el de invierno, se podría considerar la posibilidad de bajar un tamaño para aumentar aún más el margen de ahorro tanto energético como de inversión inicial. Sin embargo, para simplificar el análisis económico, se decidió mantener el mismo tamaño del generador.

Figura 19
Absorción eléctrica en funcionamiento en frío.

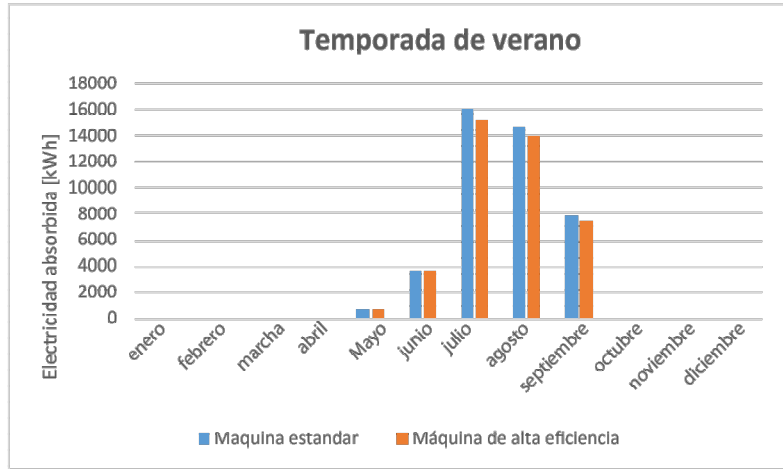


Figura 20
Absorción eléctrica en funcionamiento en caliente.

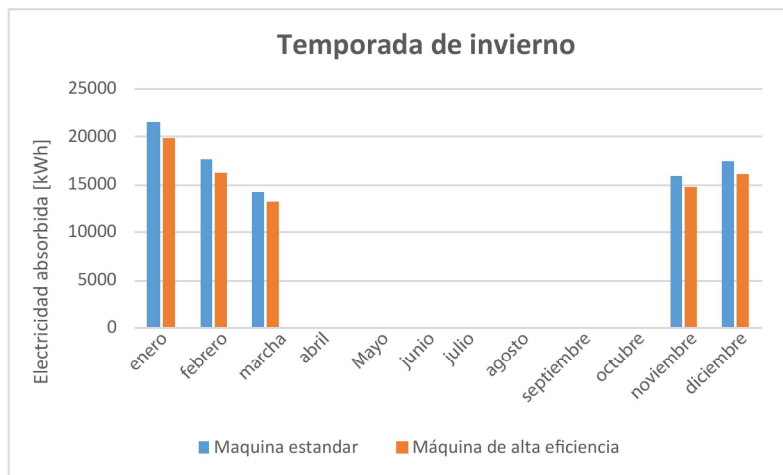
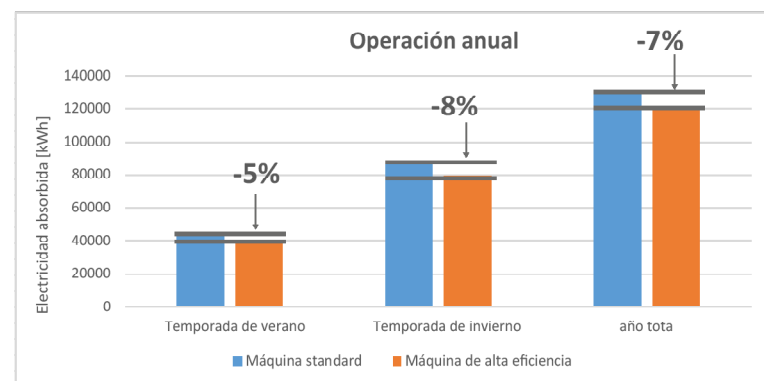


Figura 21
Absorción eléctrica anual del sistema de generación.



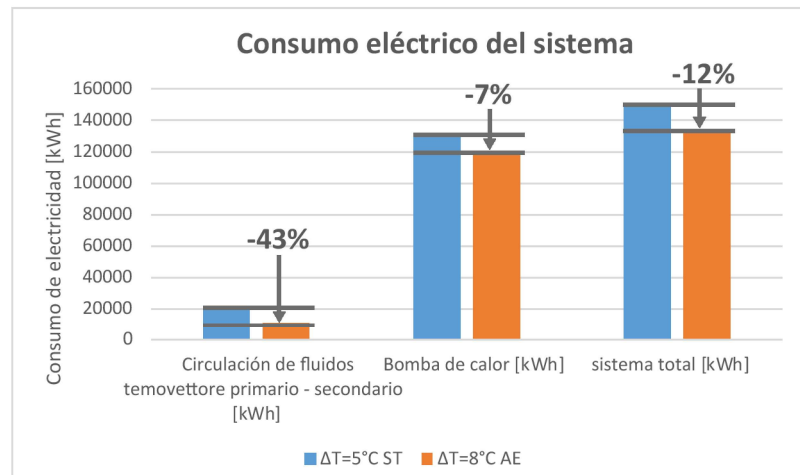
El ahorro energético anual que se puede conseguir optando por la bomba de calor de alta eficiencia en lugar de la bomba de calor estándar asciende a 7.019 kWh/año, o el 7% del consumo eléctrico relacionado con el sistema de generación, lo que equivale a 1.474 euros/año (0,21 euros/kWh).

Al analizar los costes de inversión iniciales, se observa que el ahorro de 13.121 euros conseguido al dimensionar el sistema de distribución con $\Delta T=8^{\circ}\text{C}$ puede absorber completamente el coste adicional de la bomba de calor de alta eficiencia (+11.034 euros).

En resumen, para el caso de estudio en cuestión, se ahorran 2.087 euros al optar por un sistema dimensionado con $\Delta T=8^{\circ}\text{C}$ y una bomba de calor de alta eficiencia en comparación con la solución con $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$ y una bomba de calor estándar.

Esta reducción de costes, conseguida antes de que la instalación inicie su ciclo de vida, se complementa con el ahorro de energía en el bombeo y la generación.

Figura 22
Ahorro energético global del sistema.



El ahorro económico que se puede conseguir a lo largo del ciclo de vida de la instalación es el siguiente:

- Ahorro en costes de energía de bombeo: 1.806 €/año
- Ahorro en el consumo del generador: 1.474 €/año
- **Ahorro total: 3.280 €/año**

Considerando un ciclo de vida de la instalación de 10 años, el ahorro neto conseguido durante el funcionamiento del sistema es de 32.800 euros, a los que hay que añadir los 6.190 euros ahorrados inicialmente. El ahorro total asciende a 34.887 euros en 10 años.

Capítulo 8

ANÁLISIS ECONÓMICO: VALOR ACTUAL NETO (VAN)

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{NFC_t}{(1+WACC)^t} - I_0$$

$$NFC_t = (1-t) \cdot R \cdot (1+i)^n$$

$$WACC = (1-t) \cdot \frac{D}{D+E} \cdot k_d + \frac{E}{D+E} \cdot k_e$$

Leyenda:

NFC_t = Flujo de caja neto t-ésimo

WACC = Tasa de descuento = 2%

I₀ = Inversión inicial

i = Índice de inflación = 2%

R = Ahorros logrados cada año

n = t-ésimo año

t = Tipo impositivo = 25%

D = Capital ajeno = 50%

E = Fondos propios = 50%

k_d = Coste del capital de la deuda = 1%

k_e = Rentabilidad esperada de los fondos propios = 4%

Para comprobar la rentabilidad real de las elecciones realizadas en este documento, se ha calculado el VAN (Valor Actual Neto), que permite actualizar a hoy las ganancias futuras obtenidas con la inversión inicial. Para ello se utilizan una serie de parámetros que indican si el capital gastado en la inversión inicial procede de los activos propios o de la financiación de terceros. Además, el VAN tiene en cuenta la tasa de inflación y el tipo impositivo para descontar los flujos de caja.

Teniendo en cuenta que el cambio a un ΔT más alto conlleva un ahorro neto de costes iniciales, es posible incluir en la evaluación del VAN una ganancia inicial, a la que luego se sumarán los distintos ahorros anuales, en lugar del coste de inversión inicial.

El cálculo puede dividirse en dos posibles escenarios:

ESCENARIO A

Se mantiene todo el ahorro inicial (13.121 euros). A esto se añadirá un ahorro anual de aproximadamente 1.806 euros debido a la reducción de los costes de bombeo.

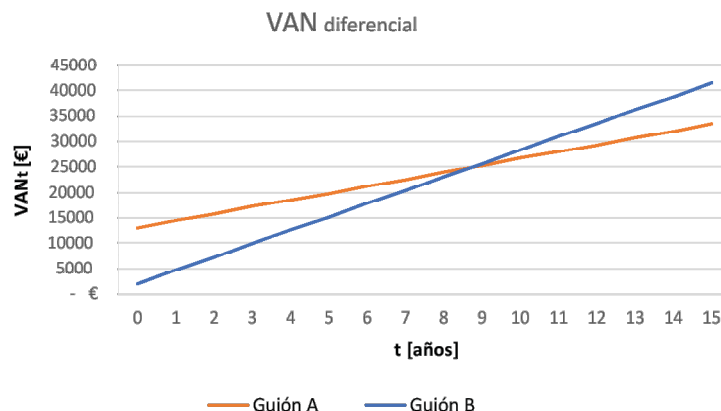
En definitiva, el análisis da como resultado un VAN calculado a 10 años de 26.666 euros.

ESCENARIO B

La ganancia inicial ya no es la cantidad total que se ahorra al reducir los diámetros de las tuberías y el aislamiento, ya que hay que deducir el aumento del coste de la bomba de calor de alta eficiencia en comparación con la solución estándar, que es de 11.034 euros. El punto de partida es, por tanto, de 2.087 euros, a los que hay que añadir el ahorro anual derivado de la reducción de los costes de bombeo y de los costes de electricidad para alimentar el generador, lo que da un total de 3.280 euros al año.

El cálculo del VAN en 10 años da como resultado un valor de 28.339 euros.

Figura 23:
VAN diferencial



En general, el cálculo del VAN a 10 años es muy similar para los dos escenarios. La principal diferencia está relacionada con la forma en que fluyen estas ganancias: en el primer caso, el ahorro inicial es más pronunciado, mientras que el ahorro anual es menos sustancial; en el segundo caso, el ahorro inicial es menor, pero la ganancia anual es mucho mayor.

Si se considerara un ciclo de vida útil de la planta superior a 10 años y los valores de los parámetros financieros (k_d = Coste del capital ajeno - k_e = Rendimiento esperado de los fondos propios) más moderados que los asumidos anteriormente, la conveniencia del segundo escenario sería más acentuada.



Capítulo 9

CONCLUSIONES

El estudio de caso que se expone en este documento, referido a un nuevo edificio de oficinas situado en Barcelona, demuestra cómo la elección de un sistema con un salto térmico aumentado a 8°C, frente al estándar de 5°C, permite obtener importantes ventajas económicas y energéticas manteniendo la fiabilidad del sistema.

Los principales beneficios a destacar son los siguientes:



Reducción de los costes de inversión fijos iniciales gracias a los menores diámetros de las tuberías, la menor necesidad de aislamiento de las mismas, el menor tamaño de los componentes de los accesorios de distribución y los menores tamaños de las bombas de circulación. El ahorro conseguido puede reinvertirse inmediatamente en soluciones que garanticen una mayor eficiencia energética en el sistema.



Reducción de los costes de explotación en el sistema de distribución, sobre todo debido a la disminución de los costes de bombeo (menor caudal de agua circulante) y, en parte, a la disminución de las pérdidas de transmisión al reducirse la superficie de intercambio entre las tuberías y el entorno.



Reducción del CO₂ emitido a la atmósfera durante la construcción, el funcionamiento y la eliminación de la instalación.



La fiabilidad está garantizada por la ausencia de complejos sistemas de regulación, que requieren las soluciones de caudal variable en el lado primario utilizadas hoy en día para reducir los costes de bombeo.

Aermec S.p.A. Via Roma, 996 - 37040 Bevilacqua (VR) Italia
T. +39 0442 633111 F. +39 0442 93577
sales@aermec.com
www.aermec.com