



Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

Proyecto Erasmus+ ID: 2023-1-ES01-KA220-HED-000156652

Este proyecto Erasmus+ ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea. Esta publicación refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión Europea y las agencias nacionales Erasmus+ no se hacen responsables del uso que pueda hacerse de la información contenida en ella.

Proyecto BIM4Energy

Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización



© BIM4Energy. This work is licensed under a
Creative Commons CC-BY-NC-SA 4.0 license.
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

Contenido

Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización.....	1
1 – Objetivos	3
2 - Metodología de aprendizaje.....	3
3 - Duración del tutorial	4
4 – Recursos didácticos necesarios.....	4
5 – Contenidos y tutorial	4
5.1 – Eficiencia energética en edificios (BEE)	4
5.2 – Métricas científicas de los sistemas de climatización.....	6
5.3 – Estrategias para optimizar los sistemas de climatización y mejorar la eficiencia energética.....	8
5.4 – Integración de energías renovables en sistemas de climatización	12
5.5 – Datos históricos y previsiones sobre el consumo de calor renovable	13
5.6 – Sistemas de climatización energéticamente eficientes en la práctica.....	16
Referencias.....	31
6 - Resultados	31
7- Lo que hemos aprendido.....	32



Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

1 – Objetivos

El tutorial «Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización» tiene como objetivo proporcionar a los participantes un conocimiento exhaustivo de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) más novedosos y eficientes desde el punto de vista energético. Los objetivos de este tutorial «Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización» son los siguientes:

- Comprender la eficiencia energética de los edificios (BEE).
- Comprender las calificaciones científicas de los mejores sistemas y equipos de climatización.
- Estrategias para optimizar los sistemas HVAC con el fin de mejorar la eficiencia energética.
- Sistemas de automatización de edificios.
- Sistemas HVAC con integración de energías renovables.
- Ejemplos reales de sistemas de climatización eficientes.

2 - Metodología de aprendizaje

El profesor ofrecerá una explicación sobre las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética en edificios: mejoras en el sistema de climatización, con una duración aproximada de 30 minutos.

Los alumnos leerán este tutorial y seguirán los pasos que se indican en él, a saber:

- Eficiencia energética en edificios;
- Métricas científicas de los sistemas de climatización;
- Estrategias para optimizar los sistemas de climatización con el fin de mejorar la eficiencia energética;
- Integración de energías renovables en los sistemas de climatización;
- Datos históricos y previsiones sobre el consumo de calor renovable;
- Sistemas de climatización energéticamente eficientes en la práctica.

Para evaluar el éxito de la aplicación, sugerimos realizar una encuesta entre los estudiantes.

Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

3 - Duración del tutorial

La implementación descrita en este tutorial se llevará a cabo a través del sitio web del proyecto BIM4ENERGY mediante autoaprendizaje.

Se recomiendan 3 horas lectivas para esta formación.

4 - Recursos didácticos necesarios

Sala de informática con ordenadores con acceso a Internet.

Software necesario: Microsoft Office.

5 – Contenidos y tutorial

5.1 – Eficiencia energética de los edificios (BEE)

Antes de profundizar en las mejoras específicas de los sistemas de climatización, es fundamental comprender qué es la eficiencia energética de los edificios y cómo se mide. La BEE es una medida estandarizada del rendimiento energético de un edificio, que suele expresarse en una escala de A a G, siendo A la más eficiente energéticamente. Hay varios factores que influyen en la calificación BEE de un edificio, entre ellos su sistema de climatización.

La BEE es una herramienta valiosa para evaluar y mejorar el rendimiento energético de los edificios. Al comprender los factores que influyen en la BEE de un edificio, los propietarios y gestores inmobiliarios pueden tomar decisiones informadas sobre las mejoras y renovaciones necesarias para aumentar la eficiencia energética, reducir los costes y contribuir a un futuro más sostenible.

El BEE es una medida estandarizada del rendimiento energético de un edificio. Básicamente, califica el consumo energético de un edificio, de forma muy similar a como se califica a los alumnos en la escuela. La eficiencia energética de los edificios se suele clasificar en una escala, normalmente de la A a la G, siendo la A la más eficiente y la G la menos eficiente. Este sistema ayuda a los consumidores y a los responsables políticos a comprender de inmediato el rendimiento energético de un edificio.

Escalas comunes de eficiencia energética de los edificios:

- Certificados de rendimiento energético (EPC): ampliamente utilizados en Europa, los EPC proporcionan una evaluación estandarizada del rendimiento energético de un edificio. Se utiliza comúnmente la escala A-G, siendo A el más eficiente y G el menos.



Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

- Sistema de calificación energética de viviendas (**HERS**): Utilizado en Estados Unidos, el índice HERS proporciona una puntuación de 0 a 100, siendo 0 el más eficiente energéticamente. Una puntuación de 100 representa una vivienda mínima según la normativa.
- Consejo Nacional de Clasificación de Ventanas (**NFRC**): Este sistema clasifica el rendimiento energético de ventanas y puertas utilizando un factor U (coeficiente de transferencia de calor) y un coeficiente de ganancia de calor solar (SHGC). Por lo general, los factores U y SHGC más bajos indican una mayor eficiencia energética.
- **LEED** (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental): Aunque no se trata de una simple escala de A a G, LEED ofrece un sistema de certificación para edificios ecológicos, con varios niveles de certificación (Certificado, Plata, Oro, Platino) basados en un conjunto completo de criterios, entre los que se incluye la eficiencia energética.
- **BREEAM** (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) utiliza un sistema de calificación distinto para evaluar el rendimiento en materia de sostenibilidad de los edificios. BREEAM evalúa diversos aspectos de la sostenibilidad de un edificio, entre ellos la energía, el agua, los materiales, los residuos, la ecología, el transporte, la salud y el bienestar, la gestión, la contaminación y la innovación. La certificación BREEAM es otorgada por evaluadores independientes, lo que garantiza una evaluación fiable e imparcial del rendimiento en materia de sostenibilidad de un edificio.

Los métodos de cálculo específicos para determinar el BEE de un edificio pueden variar en función de la región o el país. Sin embargo, los factores clave que se suelen tener en cuenta son los siguientes:

- **Envolvente del edificio:** aislamiento, ventanas y estanqueidad.
- **Sistemas de climatización:** eficiencia de la calefacción, la ventilación y el aire acondicionado.
- **Sistemas de iluminación:** eficiencia de las luminarias y los controles.
- **Fuentes de energía renovables:** integración de energía solar, eólica o geotérmica.

¿Por qué es importante el BEE?

1. **Reducción de los costes energéticos:** los edificios más eficientes energéticamente se traducen en facturas de servicios públicos más bajas para los propietarios y ocupantes.





Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

2. **Sostenibilidad medioambiental:** un menor consumo de energía significa una reducción de la huella de carbono y una menor contribución al cambio climático.
3. **Aumento del valor de la propiedad:** los edificios energéticamente eficientes suelen ser más atractivos para los inquilinos y compradores, lo que puede aumentar el valor de la propiedad.
4. **Mayor comodidad:** Los sistemas de climatización eficientes pueden proporcionar entornos interiores más confortables.
5. **Cumplimiento de la normativa:** en muchas zonas existen códigos y normativas de construcción que exigen unos estándares mínimos de eficiencia energética.

5.2 – Métricas científicas de los sistemas de climatización

Los sistemas de climatización son fundamentales para mantener entornos interiores confortables, ya que regulan la temperatura y la calidad del aire. Sin embargo, su consumo energético puede ser considerable. Optimizar estos sistemas es fundamental para reducir los costes operativos y minimizar el impacto medioambiental. De hecho, varios estudios han demostrado que la optimización de los sistemas de climatización puede suponer un ahorro energético superior al 50 %. Para los propietarios u ocupantes del edificio, esto se traduce directamente en una mejora de la calidad del aire, una reducción de las facturas de servicios públicos y un mayor confort. No obstante, para llevar a cabo esta optimización es necesario adoptar un enfoque estratégico.

Los sistemas HVAC abarcan una amplia gama de tecnologías diseñadas para regular la temperatura, la humedad y la calidad del aire en interiores. Un tipo específico de sistema HVAC que ha ganado mucha popularidad en los últimos tiempos y que puede calentar y refrigerar un espacio son las bombas de calor. A diferencia de los sistemas tradicionales que dependen de la quema de combustible para calentar, las bombas de calor utilizan un ciclo de refrigeración para transferir el calor. En modo refrigeración, extraen el calor del aire interior y lo liberan al exterior. Por el contrario, en modo calefacción, extraen el calor del ambiente exterior, incluso a temperaturas frías, y lo transfieren al interior. Esta capacidad única de mover el calor en ambas direcciones hace que las bombas de calor sean muy eficientes desde el punto de vista energético y respetuosas con el medio ambiente. Si bien los sistemas HVAC pueden incluir diversos métodos de calefacción y refrigeración, las bombas de calor ofrecen una solución versátil y sostenible para mantener un clima interior confortable.

Evaluar las clasificaciones de rendimiento de los sistemas de climatización es fundamental a la hora de seleccionar el equipo más adecuado. Estas clasificaciones proporcionan información valiosa sobre la eficiencia operativa de un sistema. Las métricas más utilizadas para evaluar el rendimiento de los sistemas de calefacción y refrigeración son el índice de eficiencia energética estacional (SEER), el índice de





Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

eficiencia energética (EER), el factor de rendimiento estacional de calefacción (HSPF), el coeficiente de rendimiento (COP) o el coeficiente de rendimiento estacional (SCOP) [1].

- **El SEER** mide la potencia de refrigeración (en unidades térmicas británicas) producida por los aires acondicionados y las bombas de calor durante una temporada de refrigeración típica, dividida por la energía consumida. Una clasificación SEER más alta indica una mayor eficiencia energética y unos costes de funcionamiento más bajos [2]. Para averiguar el SEER de una unidad, busque en la unidad exterior una etiqueta amarilla y negra con la guía energética, o inspeccione la unidad interior en busca de un papel con la clasificación, o consulte el número de modelo (por ejemplo, «XV20i» indica un SEER máximo de 20). Si estos métodos fallan, póngase en contacto con el fabricante con el número de modelo y el número de serie de la unidad.
- **El EER** también cuantifica la potencia de refrigeración (en BTU) por unidad de energía consumida (en kilovatios-hora). Sin embargo, el EER evalúa la eficiencia en condiciones controladas de laboratorio, mientras que el SEER refleja el rendimiento estacional en condiciones reales. Por ejemplo, un EER de 14 significa que el sistema produce 14 BTU de refrigeración por cada vatio de electricidad consumido.
- **El HSPF** evalúa la eficiencia general de calefacción de una bomba de calor. Representa la relación entre la potencia calorífica (en BTU) y la energía eléctrica consumida (en kilovatios-hora) durante una temporada de calefacción típica. Un HSPF más alto indica una mayor eficiencia energética.
- **El COP** mide la eficiencia de una bomba de calor, concretamente la cantidad de energía térmica que puede mover por una cantidad determinada de energía consumida. Un COP más alto indica una bomba de calor más eficiente, lo que significa que puede proporcionar más potencia de calefacción o refrigeración por la misma cantidad de energía consumida. El COP se calcula dividiendo la potencia de calefacción o refrigeración (en unidades de energía) por la energía consumida (también en unidades de energía).
- **El SCOP** mide la eficiencia energética de una bomba de calor durante toda una temporada de calefacción o refrigeración. A diferencia del coeficiente de rendimiento (COP), que mide la eficiencia en un momento determinado, el SCOP tiene en cuenta las variaciones de la temperatura exterior y las condiciones de funcionamiento a lo largo de toda la temporada de calefacción o refrigeración. El SCOP se calcula dividiendo la cantidad total de calor suministrado (para calefacción) o extraído (para refrigeración) por la cantidad total de energía consumida durante toda la temporada.

Básicamente, estas métricas tienen por objeto determinar la eficacia con la que un sistema de climatización o una bomba de calor convierte la energía en refrigeración, indicando que los valores más altos corresponden a una mayor eficiencia. Comprender estas clasificaciones de eficiencia es fundamental para tomar decisiones informadas al





Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

comparar diferentes sistemas de climatización. Dar prioridad a los sistemas y componentes con valores más altos puede maximizar la eficiencia energética y lograr un ahorro energético significativo.

5.3 – Estrategias para optimizar los sistemas HVAC y mejorar la eficiencia energética

La optimización de los sistemas HVAC es fundamental tanto para el ahorro de energía como para la reducción de costes. A continuación se presentan varias estrategias para mejorar su eficiencia:

1. Mantenimiento regular

- Limpiar o sustituir los filtros: los filtros obstruidos restringen el flujo de aire, lo que obliga al sistema a trabajar más y aumenta el consumo de energía. Limpie o sustituya los filtros con regularidad según las recomendaciones del fabricante.
- Inspeccione y limpie las bobinas: Las bobinas del evaporador y del condensador sucias reducen la eficiencia de la transferencia de calor. Una limpieza regular garantiza un rendimiento óptimo.
- Compruebe los niveles de refrigerante: unos niveles inadecuados de refrigerante pueden afectar significativamente a la eficiencia del sistema y provocar costosas reparaciones. Asegúrese de que los niveles de refrigerante se encuentran dentro del rango especificado.

2. Actualice a equipos energéticamente eficientes

- Unidades de alta eficiencia: Considere la posibilidad de sustituir las unidades antiguas y menos eficientes por modelos más nuevos que cumplan las normas ENERGY STAR®. Estos modelos suelen tener características avanzadas, como motores de velocidad variable y un aislamiento mejorado, lo que se traduce en un menor consumo de energía.
- Termostatos inteligentes: los termostatos inteligentes ofrecen un control preciso de la temperatura y la programación, optimizando el consumo de energía en función de la ocupación y la hora del día. También pueden aprender sus preferencias y ajustar la configuración en consecuencia.

3. Optimice la distribución del aire y la ventilación

- Selle y aíslle los conductos: Los conductos con fugas pueden desperdiciar una cantidad significativa de aire acondicionado. Selle y aíslle los conductos para evitar la pérdida de energía y mejorar la eficiencia del sistema.



Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

- Equilibre el flujo de aire: Asegúrese de que el aire se distribuye correctamente por todo el edificio equilibrando el flujo de aire en las diferentes habitaciones. Esto evita los puntos calientes o fríos e incluso garantiza la distribución de la temperatura.
- Ventilación controlada según la demanda: utilice sistemas de ventilación controlados según la demanda que ajusten las tasas de ventilación en función de los niveles de ocupación, reduciendo el desperdicio de energía asociado a la ventilación excesiva.

4. Implemente sistemas de automatización de edificios

- Control centralizado: los sistemas de automatización de edificios (BAS) proporcionan un control centralizado de los sistemas de climatización, lo que permite un funcionamiento y una supervisión eficientes.
- Optimización basada en datos: los BAS pueden recopilar datos sobre el consumo de energía y el rendimiento del sistema, lo que permite optimizar la configuración de los sistemas de climatización basándose en los datos.
- Integración con otros sistemas: Los BAS pueden integrarse con otros sistemas del edificio, como los controles de iluminación y sombreado, para mejorar aún más la eficiencia energética.

Tras haber examinado exhaustivamente las estrategias fundamentales para mejorar la eficiencia de los sistemas de climatización en nuestro tutorial anterior, «Sistemas de climatización eficientes y vectores energéticos», que incluía la importancia crítica del mantenimiento regular, la implementación estratégica de termostatos inteligentes y la optimización de la distribución del aire, ahora nos embarcaremos en una exploración más profunda de los sistemas de automatización de edificios (BAS).

En esta sección se profundizará en las complejidades del **diseño**, la implementación y el funcionamiento **de los BAS**, destacando su papel fundamental para lograr un ahorro energético significativo y mejorar el rendimiento general de los edificios.

Los BAS tienen como objetivo gestionar de forma centralizada las condiciones ambientales de una instalación a través de una interfaz de usuario. Para ello, se instala en todo el edificio una red de dispositivos de campo y actuadores mecánicos, todos ellos controlados por un controlador central. Es fundamental que exista una comunicación eficaz entre el controlador, los dispositivos de campo y los actuadores.

El éxito de la implementación de los BAS depende de la interoperabilidad entre los componentes. Tradicionalmente, el uso de equipos de un solo fabricante simplificaba este proceso, ya que todos los dispositivos seguían el mismo protocolo de comunicación. Sin embargo, con la estandarización de los protocolos de comunicación, la interoperabilidad entre productos de diferentes proveedores se ha vuelto más factible.



Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

Los sistemas de automatización de edificios suelen constar de cuatro capas funcionales distintas (véase la figura 1). Mantener la integridad de estas capas es fundamental para la interoperabilidad del sistema. Cualquier desviación de las normas establecidas por un fabricante puede dificultar la compatibilidad de sus componentes dentro del ecosistema más amplio de los sistemas de automatización de edificios a nivel mundial.

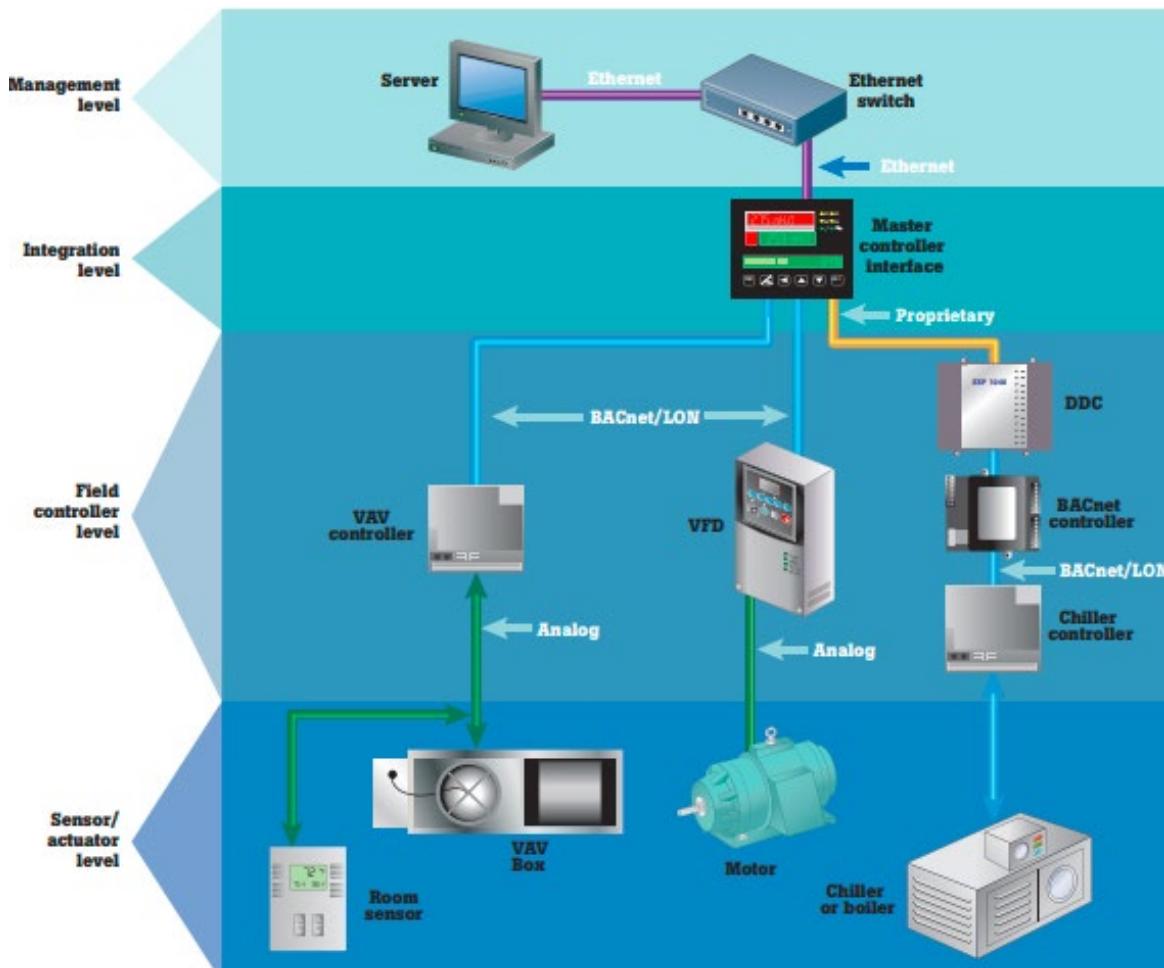


Figura 1. Las cuatro capas de la arquitectura BAS [3]

El nivel de gestión proporciona una interfaz entre la aplicación de software BAS y la red. Esta capa permite la transferencia de datos entre la aplicación y la red. La capa de aplicación dentro de un BAS define un conjunto de reglas que rigen la activación o desactivación de los objetos del sistema. Estos objetos, que representan entidades físicas como los climatizadores, poseen propiedades que describen sus características y parámetros relevantes. Cuando un objeto realiza una acción, activa los parámetros asociados, como una válvula de control o un variador de frecuencia (VFD) para un ventilador.

El nivel de integración o capa de supervisión desempeña un papel crucial para garantizar la transmisión fiable de datos en todo el sistema. Abarca tanto los componentes de software como los de hardware.



Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

El software de esta capa define el formato y el contenido de los mensajes intercambiados entre los dispositivos. Estos mensajes transmiten información crítica, como el estado de los dispositivos, las lecturas de temperatura y la velocidad de los ventiladores.

Los componentes de hardware de esta capa facilitan la transmisión física de datos entre dispositivos. Se pueden emplear diversos medios de comunicación, cada uno con características únicas. Es fundamental elegir cuidadosamente el medio, ya que las variaciones en la transmisión de datos pueden provocar discrepancias en las lecturas y, por consiguiente, información inexacta.

El nivel del controlador de campo sirve de base para la adquisición de datos dentro del BAS. Esta capa alberga dispositivos de campo estratégicamente situados en toda la instalación, que supervisan y miden continuamente parámetros físicos críticos.

Para facilitar la transmisión de datos, la capa del controlador de campo permite que estos dispositivos, como sensores y transmisores, transmitan los datos recopilados a la capa de supervisión para su posterior procesamiento y la ejecución de las acciones de control necesarias. Este intercambio de datos suele activarse mediante señales recibidas de la capa de supervisión, lo que inicia el proceso de transmisión de datos.

El nivel de sensores/actuadores o capa de entrada/salida (E/S) constituye la interfaz entre el mundo físico y el ámbito digital del sistema. Esta capa crítica abarca todos los dispositivos físicos responsables de la adquisición de datos, como sensores, actuadores e interfaces de comunicación.

La capa de E/S tiene dos funciones principales:

1. Adquisición de datos: recopila datos en tiempo real de diversas fuentes, como sensores de temperatura, sensores de humedad, sensores de presión y detectores de ocupación. A continuación, estos datos brutos se transmiten al controlador central para su procesamiento y análisis.
2. Ejecución de comandos: recibe comandos del controlador central y los traduce en acciones para los dispositivos físicos. Por ejemplo, puede activar una válvula para controlar el flujo de agua, ajustar la velocidad de un ventilador o encender o apagar los dispositivos de iluminación.

La capa de E/S debe adaptarse a diversos protocolos de comunicación y formatos de datos. Mientras que algunos dispositivos pueden transmitir datos directamente al controlador, otros pueden utilizar protocolos estándar del sector, como Modbus o BACnet. Esta capa garantiza una integración y una interoperabilidad perfectas entre los distintos dispositivos y el sistema de control central.



Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

En esencia, la capa de E/S actúa como un puente que conecta los componentes físicos del edificio con la lógica de control inteligente del BAS, lo que permite supervisar, controlar y optimizar de forma eficaz las operaciones del edificio.

En diversos sectores se observa una clara tendencia hacia la estandarización de las prácticas. Esta estandarización ofrece numerosas ventajas, entre las que se incluyen una mayor interoperabilidad y un mejor acceso al soporte técnico en caso de averías del sistema. La arquitectura en capas de los sistemas de automatización de edificios (BAS) respalda directamente esta tendencia. Al adherirse a esta estructura en capas, los fabricantes avanzados están diseñando dispositivos que se integran a la perfección en el marco general de los BAS.

5.4 – Integración de energías renovables en los sistemas HVAC

La integración de fuentes de energía renovables en los sistemas HVAC es un paso crucial hacia un futuro sostenible y energéticamente eficiente. Al aprovechar las fuentes de energía limpia, podemos reducir significativamente nuestra dependencia de los combustibles fósiles, minimizar el impacto medioambiental y reducir los costes operativos.

Las principales fuentes de energía renovable para la climatización son:

- **La energía solar**, que puede aprovecharse a través de paneles fotovoltaicos (PV) para alimentar directamente bombas de calor eléctricas, ventiladores y otros componentes, o a través de colectores solares térmicos para calentar agua para enfriadores de absorción o sistemas de calefacción radiante.
- **La energía geotérmica** utiliza la temperatura estable de la Tierra para proporcionar calefacción y refrigeración a través de bombas de calor geotérmicas.
- **La energía eólica** puede utilizarse para generar electricidad para alimentar diversos componentes de los sistemas de climatización, especialmente en zonas con recursos eólicos constantes.
- **La energía de biomasa** implica la combustión de materiales orgánicos como la madera y los residuos agrícolas para producir calor para la calefacción de espacios o para alimentar enfriadores por absorción.

Las fuentes de energía renovable pueden **integrarse directamente** en los equipos de climatización, como el uso de paneles solares fotovoltaicos para alimentar bombas de calor eléctricas o turbinas eólicas para accionar ventiladores. **Los sistemas híbridos**, que combinan fuentes de energía renovables con fuentes de energía tradicionales, ofrecen una mayor fiabilidad y eficiencia. Por ejemplo, una bomba de calor geotérmica puede funcionar junto con un horno de gas de reserva. Además, la integración de **sistemas de almacenamiento de energía**, como baterías o almacenamiento térmico, permite utilizar la energía renovable incluso durante los períodos de baja o nula generación, lo que





Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

garantiza un suministro de energía constante y fiable para las operaciones de climatización.

La integración de fuentes de energía renovables en los sistemas de climatización ofrece numerosas **ventajas**. Al minimizar la dependencia de los combustibles fósiles, estos sistemas reducen significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo así a reducir la huella de carbono. Además, la utilización de fuentes de energía renovables gratuitas o de bajo coste, como la energía solar y eólica, permite reducir los costes operativos y las facturas de energía. Por otra parte, la integración de fuentes de energía renovables aumenta la independencia energética al reducir la dependencia de la red y mejorar la autosuficiencia e. En última instancia, estos sistemas promueven el uso de fuentes de energía limpias y sostenibles, lo que contribuye a un medio ambiente más saludable y sostenible.

La integración de fuentes de energía renovables en los sistemas de climatización plantea varios **retos**. En primer lugar, la naturaleza intermitente de la energía solar y eólica, que fluctúa en función de las condiciones meteorológicas, requiere una planificación cuidadosa y puede hacer necesaria la inclusión de sistemas de almacenamiento de energía o fuentes de energía de reserva. En segundo lugar, los costes de inversión iniciales asociados a los sistemas de energía renovable pueden ser más elevados en comparación con los sistemas tradicionales, aunque estos costes están disminuyendo gradualmente. Por último, la integración de fuentes de energía renovables en los sistemas de climatización existentes suele requerir conocimientos especializados y una planificación cuidadosa para garantizar un rendimiento óptimo y la compatibilidad con la infraestructura existente.

La integración de las energías renovables en los sistemas de climatización ofrece numerosas **ventajas medioambientales y económicas**. Al adoptar estas tecnologías y superar los retos asociados, podemos crear edificios más sostenibles y eficientes desde el punto de vista energético que contribuyan a un futuro más limpio y saludable.

5.5 – Datos históricos y previsiones sobre el consumo de calor renovable

El consumo de calefacción sigue siendo un sector dominante en el consumo mundial de energía, ya que representa casi la mitad del total y contribuye aproximadamente al 40 % de las emisiones de CO2 relacionadas con la energía en 2023. Entre 2017 y 2023, la demanda mundial de calor experimentó un aumento sustancial del 7 % (14 exajulios). Sin embargo, el **crecimiento de las fuentes modernas de calor renovable** se quedó rezagado, satisfaciendo solo la mitad de esta creciente demanda. En consecuencia, las emisiones de CO2 relacionadas con el calor aumentaron un 5 % durante este periodo, siendo el sector industrial el principal responsable de este aumento [4].

El dinámico panorama de los mercados de calor renovable en 2023 se vio significativamente afectado por varios factores. Entre ellos se incluyen el aumento de





Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

los tipos de interés, las presiones inflacionistas, el descenso de la actividad constructora en muchos países, el resurgimiento de los precios más bajos del gas natural y la evolución de los marcos políticos. Si bien tecnologías como las bombas de calor, la energía solar térmica y los sistemas de calefacción geotérmica ofrecen la ventaja de unos bajos costes operativos, su considerable inversión inicial supone una barrera importante para los hogares. En consecuencia, las ventas de estas tecnologías muestran una marcada sensibilidad a las fluctuaciones de los costes de financiación y al estado de ánimo de los consumidores.

El mercado mundial de bombas de calor experimentó una desaceleración en 2023 tras un periodo de fuerte crecimiento. Este descenso, estimado en un 3 % con respecto al año anterior, puede atribuirse a varios factores.

En Japón, un mercado maduro de bombas de calor, las ventas de bombas de calor aire-agua registraron una disminución interanual del 10 %, debido principalmente al impacto combinado de la elevada inflación y el moderado gasto de los consumidores. De manera similar, Estados Unidos observó un descenso del 15 % en las ventas de bombas de calor aire-aire. Esta caída puede estar relacionada con el aumento de los costes de financiación, la mayor aprensión de los consumidores hacia inversiones significativas y la anticipación de las próximas rebajas fiscales administradas por el Estado en virtud de la Ley de Reducción de la Inflación, que se espera que estén disponibles en los próximos años. Estas rebajas, diseñadas para incentivar la adopción de tecnologías energéticamente eficientes, pueden haber llevado a algunos consumidores estadounidenses a aplazar sus decisiones de compra.

El mercado europeo de bombas de calor, aunque sigue registrando buenos resultados, experimentó un descenso interanual del 6,5 % en 2023, lo que obligó a varios fabricantes a realizar ajustes operativos y recortes de plantilla. Sin embargo, esta caída no fue uniforme en todo el continente. Mientras que Alemania (+59 %), los Países Bajos (+43 %) y Bélgica (+72 %) registraron un crecimiento sustancial de las ventas de bombas de calor, Italia (-44 %), Finlandia (-42 %) y Polonia (-39 %) experimentaron contracciones significativas.



Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

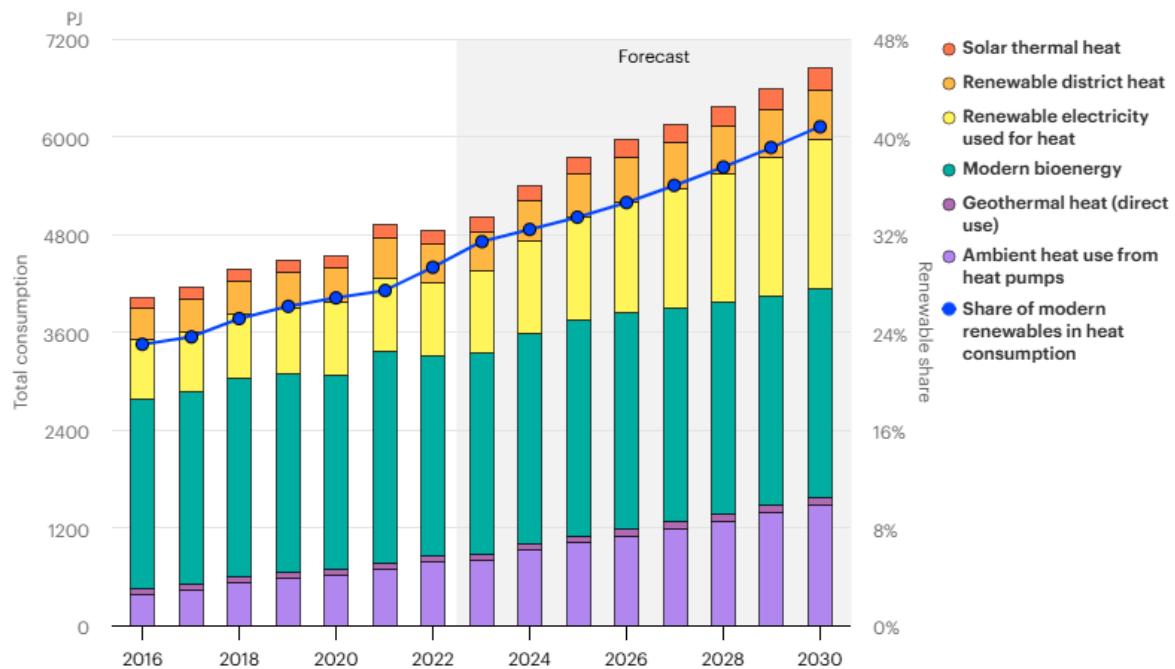


Figura 2: Consumo de calor renovable en edificios en Europa [5]

No obstante, las bombas de calor continuaron ampliando su cuota de mercado en Europa el año pasado, superando a las calderas de combustibles fósiles en la mayoría de los países, con excepciones notables como Italia, Polonia y Finlandia. Esta tendencia hizo que las bombas de calor representaran casi un tercio de todas las ventas de sistemas de calefacción en 2023.

Se prevé que el consumo mundial de calor renovable experimente un crecimiento sustancial entre 2024 y 2030, superando un aumento del 50 % (15 EJ).

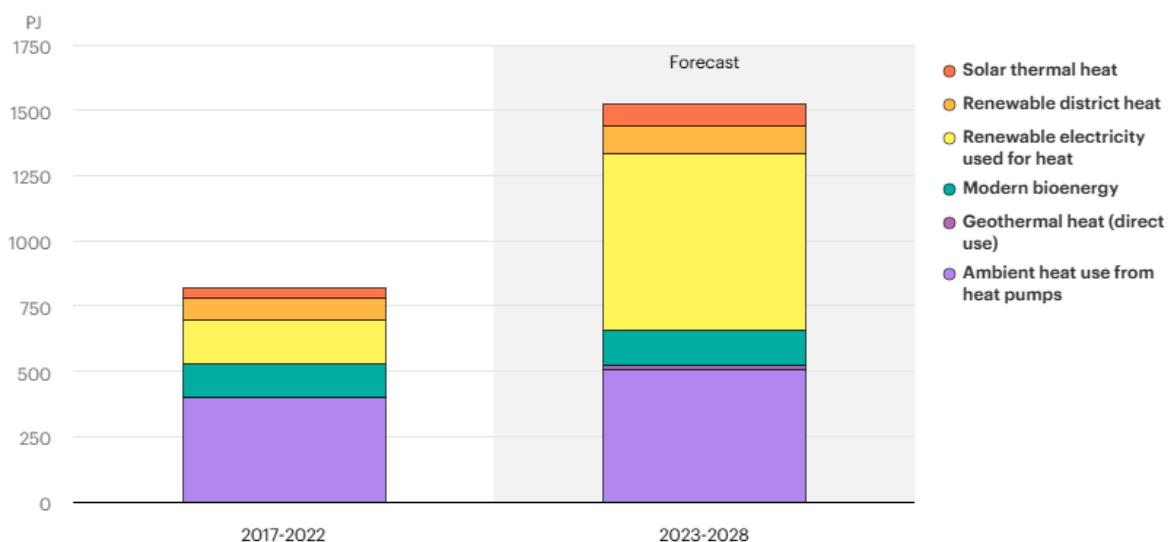


Figura 3: Crecimiento del consumo, edificios por tecnología de calefacción, Europa [5]

Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

Esta tasa de crecimiento supera en 2,4 veces la del sexenio anterior. Sin embargo, esta importante expansión de la utilización de calor renovable es insuficiente para compensar por completo el aumento previsto de la demanda global de calor. En consecuencia, se prevé que persista la dependencia de los combustibles fósiles para la generación de calor, lo que provocará un aumento del 4 % de las emisiones anuales de CO2 relacionadas con el calor para 2030.

Además, se prevé que las emisiones acumuladas relacionadas con la calefacción durante este periodo superen los 100 Gt de CO2, una cifra que constituye casi el 30 % del presupuesto de carbono restante para limitar el calentamiento global a 1,5 °C con un 50 % de probabilidad.

5.6 – Sistemas de climatización energéticamente eficientes en la práctica

En la siguiente sección se presenta un examen detallado de varios sistemas de climatización destacados, con especial atención a sus parámetros de rendimiento científico. Este análisis en profundidad ofrece una visión general completa de las capacidades de cada sistema, lo que permite a los lectores comprender mejor sus respectivas ventajas y desventajas.

5.6.1. Enfriador aire-agua

El enfriador está equipado con compresores de alta eficiencia que incorporan la tecnología de variador de frecuencia (VFD) para una modulación precisa de la capacidad y la función de relación de volumen variable (VVR), lo que permite un rendimiento óptimo en un amplio rango de funcionamiento. Utiliza el refrigerante R-513A, respetuoso con el medio ambiente, que presenta un potencial de calentamiento global (GWP) significativamente reducido en comparación con los refrigerantes tradicionales. Este avanzado e e de enfriador ofrece capacidades simultáneas de calefacción y refrigeración, lo que proporciona un control de temperatura flexible y sensible para satisfacer las diversas y cambiantes necesidades de diversas aplicaciones.

Su rango de capacidad es de 400 a 800 kW tanto en modo refrigeración como en modo calefacción, con un índice de eficiencia energética total (TER) de hasta 7,89. Funciona a temperaturas ambiente de entre -18 °C y +50 °C, con temperaturas de agua refrigerada que oscilan entre -8 °C (con una mezcla de agua y glicol) y +20 °C, y temperaturas de agua de calefacción de entre +30 °C y +60 °C.

Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

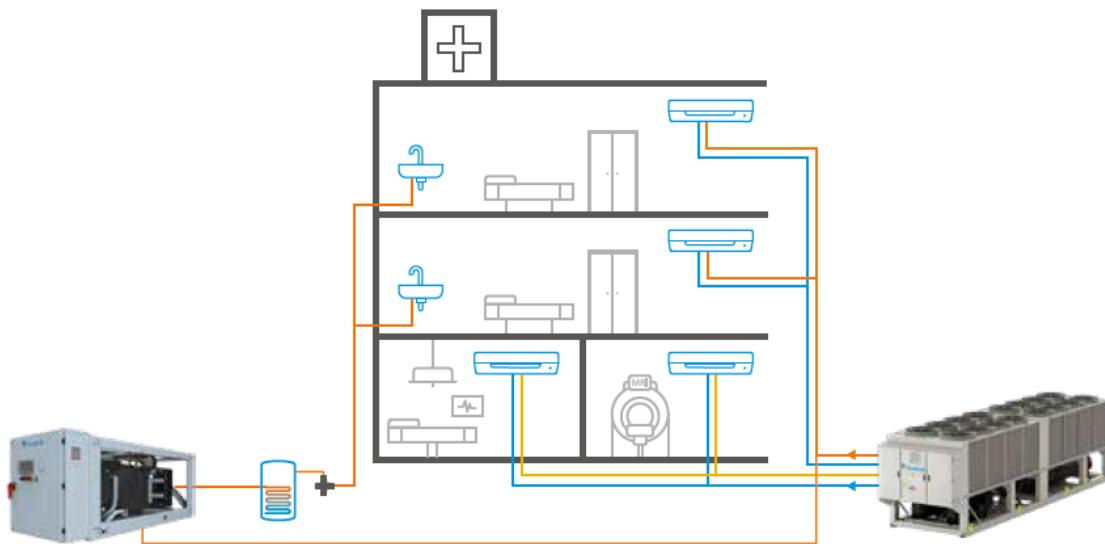


Figura 4: Enfriador con calefacción y refrigeración simultáneas de Daikin [6]

Tabla 1: Especificaciones técnicas de una enfriadora aire-agua

Especificaciones técnicas		Unidad de medida	Valor
Capacidad de refrigeración		kW	393,1
Capacidad de calefacción		kW	403,1
Potencia absorbida	Refrigeración	kW	135,55
	Calefacción	kW	126,76
SEER			4,5
EER			2,90
COP			3,18
SCOP			3,21
Refrigerante		PAG	63

El enfriador se puede utilizar ampliamente en diversas aplicaciones, desde edificios industriales y comerciales hasta hoteles y hospitales. Garantiza un funcionamiento fiable y un rendimiento óptimo en una amplia gama de ubicaciones y condiciones climáticas.

5.6.2. Unidades de tratamiento de aire

Esta solución de control integral ofrece una integración perfecta para una amplia gama de sistemas de climatización. Abarca el control del flujo de aire y la temperatura, tanto del aire de suministro como del de retorno, así como la monitorización de la temperatura ambiente. Los sistemas de refrigeración se gestionan de forma experta, incluyendo el agua refrigerada y la refrigeración DX, con la ventaja añadida de la



Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

integración de la refrigeración libre para una mayor eficiencia energética. Además, el sistema incorpora un control automático de CO₂ para una calidad óptima del aire interior. Es compatible con sistemas de volumen de aire variable (VAV) y de volumen de aire constante (CAV), lo que proporciona flexibilidad y adaptabilidad a las diversas necesidades de climatización.

La unidad de tratamiento de aire (AHU) tiene un caudal de aire que va desde 750 m³/h hasta 144 000 m³/h para adaptarse a todas las necesidades de los clientes. Disponibles en versiones para interior y exterior, estas unidades están diseñadas a medida para facilitar su transporte y montaje in situ. La superficie interior lisa mejora la calidad del aire interior (IAQ). La integración con los sistemas de refrigeración DX es perfecta, incluida la compatibilidad con el acoplamiento VRV IV y ERQ.

Se ofrece una variedad de sistemas de recuperación de calor, que incluyen ruedas de calor (sensibles, entálpicas o de sorción), intercambiadores de calor de placas de flujo cruzado y contraflujo, y serpentines de recirculación. Hay disponible una amplia selección de ventiladores, que incluyen opciones EC, enchufe de CA y accionamiento por correa con álabes curvados hacia delante, hacia atrás y aerodinámicos hacia atrás.

La sección de la bobina de calefacción/refrigeración cuenta con una bandeja de condensación de acero inoxidable con protección contra goteo. Hay varios humidificadores disponibles para adaptarse a las necesidades específicas de los clientes. Los filtros de alta eficiencia están equipados con un manómetro de presión diferencial montado de fábrica.

El perfil está fabricado en aluminio anodizado con o sin rotura de puente térmico. El bastidor base está disponible en acero galvanizado, aluminio, acero inoxidable 430 o 316. Las opciones de aislamiento de los paneles incluyen espuma de poliuretano o lana mineral. Se puede seleccionar una gama de materiales para el revestimiento interno y externo de los paneles: pre-recubierto, aluzinc, aluminio, acero inoxidable 304 o 316.

Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización



Figura 5: D-AHU Professional de Daikin [7]

El lado de suministro incluye una sección de compuertas con rejillas de ventilación y actuadores montados en fábrica, filtros de alta eficiencia con un manómetro de presión diferencial montado en fábrica, un sistema de recuperación de calor (intercambiador de calor de placas de flujo cruzado y contraflujo o intercambiador de calor rotativo), una caja de mezcla con un regulador y actuadores montados de fábrica, una sección de serpentín de calefacción/refrigeración con bandeja de condensación de acero inoxidable y protección contra goteo, y un ventilador de aire de suministro con tecnología EC (con puerta abatible, control de apertura, iluminación montada y cableada e interruptor de encendido/apagado).

El lado de retorno incluye filtros de alta eficiencia con un manómetro de presión diferencial montado de fábrica. También cuenta con un ventilador de aire de escape con tecnología EC, equipado con una puerta abatible, control de apertura, iluminación montada y cableada y un interruptor ON/OFF. El sistema incorpora una caja de mezcla con un regulador y actuadores montados de fábrica. Se incluye un sistema de recuperación de calor (intercambiador de calor de placas de flujo cruzado y contraflujo o intercambiador de calor rotativo). Por último, el lado de retorno comprende una sección de compuertas con rejillas de ventilación y actuadores montados de fábrica.

Dado el alto grado de personalización de la D-AHU Professional para adaptarse a diversas aplicaciones, la tabla 2 ofrece un resumen de sus especificaciones técnicas clave para ofrecer una comprensión completa de sus capacidades.



Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

Tabla 2: Especificaciones técnicas de la UTA

Especificaciones	Unidad de medida	Valor
Caudal de aire	m^3/h	15 000
Eficiencia térmica en invierno		78,2
Potencia de entrada	kW	7,6
SFPv ⁽¹⁾	$\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}$	1,55

⁽¹⁾ SFPv es un parámetro que cuantifica la eficiencia del ventilador (cuanto más bajo sea, mejor será). Se reduce si disminuye el flujo de aire.

El sistema HVAC cuenta con una construcción con rotura de puente térmico, lo que elimina los puentes térmicos en toda la UTA para mejorar la eficiencia energética. La superficie interior lisa favorece la calidad del aire interior (IAQ) al minimizar la acumulación de polvo y facilitar la limpieza. Este compromiso con la IAQ se ve reforzado por el cumplimiento de la estricta norma de higiene VDI 6022.

La UTA viene con la plataforma Daikin on Site (véase la figura 6), que ofrece diferentes características y funciones para supervisar y controlar la unidad. El sistema de supervisión pone a disposición paneles de control, acceso remoto, programación, gráficos en línea, diagnósticos y actualizaciones de software.

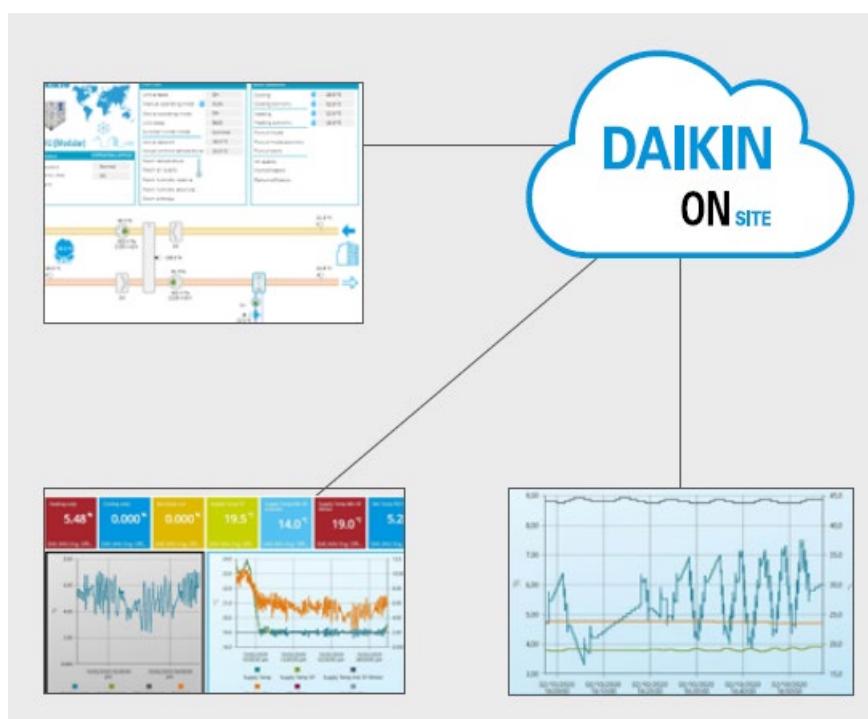


Figura 6: Plataforma de control de la UTA [7]

El fabricante también puede proporcionar un sistema de automatización de edificios (véase la figura 7). La gestión inteligente de la energía supervisa si el consumo energético



Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

se ajusta al plan y ayuda a detectar el origen del desperdicio de energía. Los potentes programas garantizan un funcionamiento correcto durante todo el año. Se puede ahorrar energía interconectando el funcionamiento del aire acondicionado con otros equipos, como la calefacción. El control de corte de potencia máxima, que se activa dentro de la función de programación, permite a los usuarios operar la unidad exterior en 4 configuraciones: 100 %, 70 %, 40 % y 0 %.

System overview

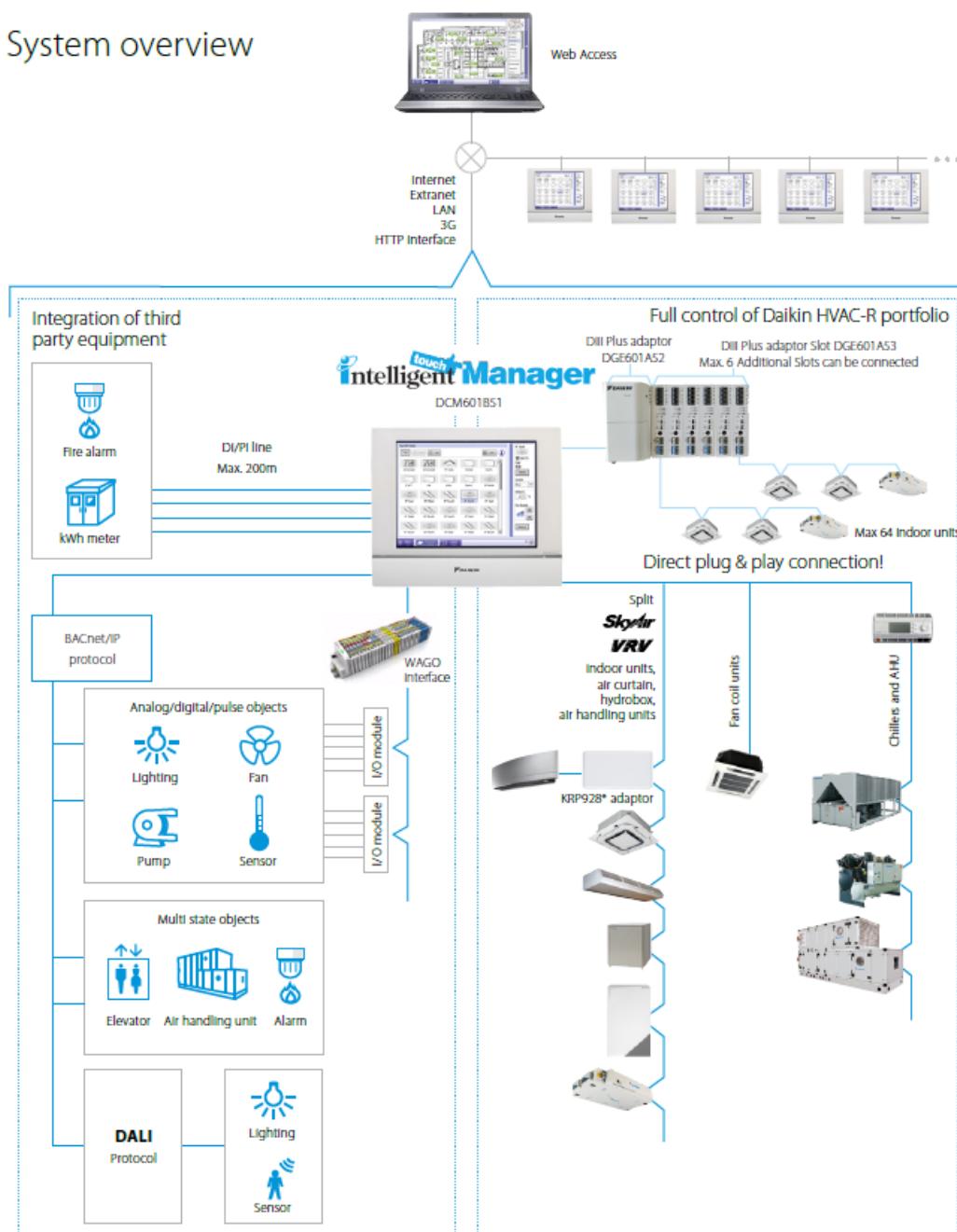


Figura 7: Sistema de gestión de edificios [7]



Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

El paquete de aire fresco de Daikin ofrece una solución completa, que incluye todos los controles de la unidad (válvula de expansión, caja de control y controlador AHU) y sensores montados y configurados de fábrica. Para obtener una mayor eficiencia, la integración de la AHU con un sistema de recuperación de calor (véase la figura 8) es aún más eficaz, ya que un sistema de oficina puede estar frecuentemente en modo de refrigeración mientras que el aire exterior es demasiado frío para ser introducido en el interior sin acondicionar. En este caso, el calor de las oficinas se transfiere simplemente para calentar el aire fresco que entra. Las unidades ERQ y VRV de Daikin responden rápidamente a las fluctuaciones de la temperatura del aire de suministro, lo que se traduce en una temperatura interior constante y un alto nivel de confort para el usuario final. Lo último es la gama VRV, que mejora aún más el confort al ofrecer calefacción continua, incluso durante la descongelación.

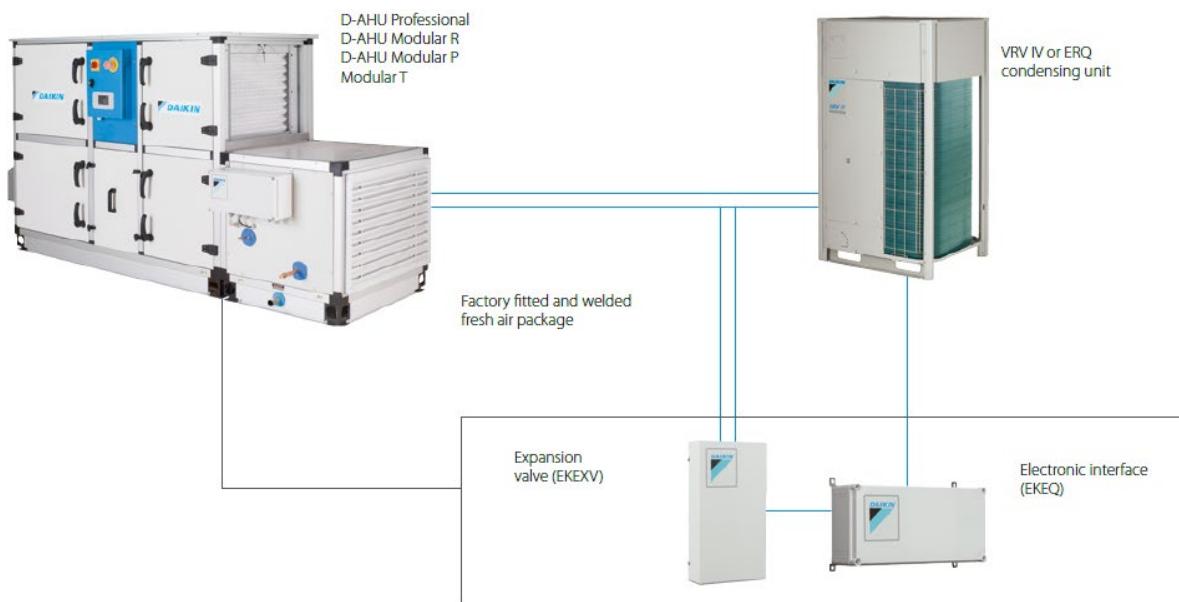


Figura 8: Integración de una UTA con un sistema de recuperación de calor [7]

5.6.3. Sistema HVAC con volumen de refrigerante variable (VRV) con recuperación de calor

En el sistema VRV con recuperación de calor, la eficiencia energética se mejora gracias a varias características clave. La recuperación de calor transfiere el calor de las zonas donde se necesita refrigeración a las zonas donde se necesita agua caliente o calefacción, maximizando el aprovechamiento de la energía. La tecnología de refrigerante variable optimiza el confort y aumenta la eficiencia estacional hasta un 28 % en comparación con otras soluciones alternativas, ajustando dinámicamente la temperatura del refrigerante en función de la carga de refrigeración. La inclusión de la



Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

tecnología original de 3 tubos aumenta significativamente la eficiencia energética durante el modo de recuperación de calor.

VRV 5 Heat Recovery (véase la figura 9) ofrece la mejor solución de su clase en cuanto a eficiencia y confort. Reduce las emisiones equivalentes de CO₂ utilizando el refrigerante R-32, con un menor potencial de calentamiento global, y una carga de refrigerante reducida. Este sistema utiliza un refrigerante de un solo componente, lo que facilita su reutilización y reciclaje. La sostenibilidad se maximiza a lo largo de todo el ciclo de vida gracias a la eficiencia estacional real líder en el mercado. La calefacción «gratuita» se consigue mediante una eficiente recuperación de calor de 3 tubos, que transfiere el calor de las zonas de refrigeración a las zonas de calefacción.

Esta tecnología permite que el sistema se adapte eficazmente a aplicaciones en habitaciones pequeñas. Las unidades interiores especialmente diseñadas para el R-32 garantizan bajos niveles de ruido y la máxima eficiencia. La refrigeración y la calefacción simultáneas proporcionan un confort personal óptimo para los huéspedes y los inquilinos. La flexibilidad de instalación se maximiza con longitudes de tubería de hasta 165 metros y una longitud total de 1000 metros. Los niveles de presión acústica pueden ser tan bajos como 40 dB(A) gracias a 5 pasos de bajo ruido. El sistema ofrece un ESP de hasta 78 Pa, lo que permite opciones de conductos flexibles. Un amplio rango de funcionamiento de hasta +46 °C en refrigeración y hasta -20 °C en calefacción garantiza un rendimiento fiable en climas diversos. VRV 5 Heat Recovery incorpora tecnologías avanzadas heredadas del VRV IV+, como la temperatura variable del refrigerante, la calefacción continua, una pantalla de 7 segmentos, compresores totalmente inverter, un intercambiador de calor de 4 lados, una placa PCB refrigerada por refrigerante y un nuevo motor de ventilador de CC.

Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

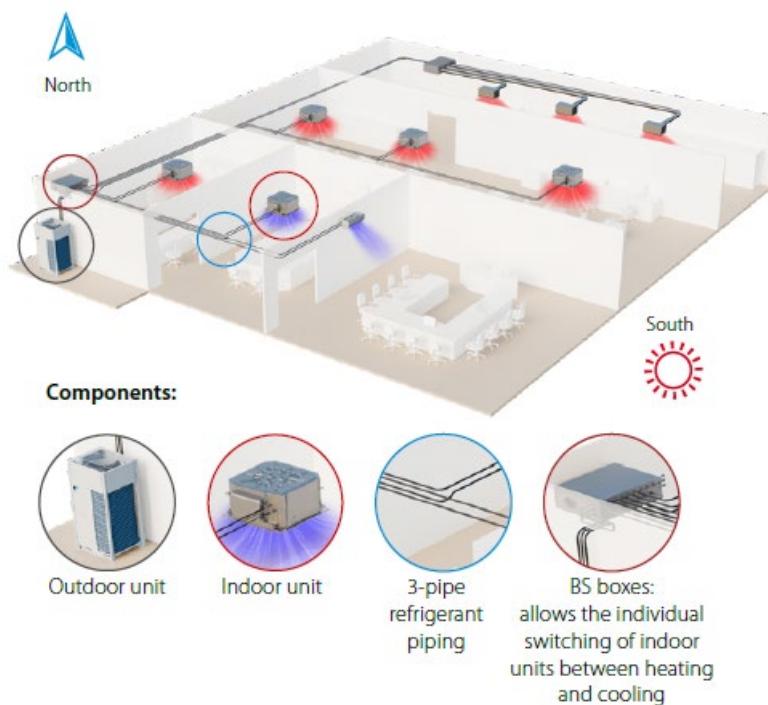


Figura 9: Sistema de recuperación de calor VRV [7]

Para una mejor comprensión y comparación, en la tabla 3 se proporcionan las especificaciones técnicas de un sistema de recuperación de calor VRV de la unidad exterior.

Tabla 3 - Especificaciones técnicas del modelo VRV con recuperación de calor REYA8A de Daikin

Datos técnicos	Unidad de medida	Valor
Rango de capacidad	HP	20
Capacidad de refrigeración	kW	55,9
Capacidad de calefacción	kW	62,5
SEER	-	7,2
SCOP	-	4,38
Nivel de presión acústica	dBA	56,3
Refrigerante	GWP	675

5.6.4. Sistema HVAC con bomba de calor de volumen de refrigerante variable (VRV)

La bomba de calor VRV (véase la figura 10) ofrece una solución que combina confort y bajo consumo energético. Se reduce el equivalente de CO₂ gracias al uso de un refrigerante R-32 con un PCM más bajo y una menor carga de refrigerante. El uso de un refrigerante de un solo componente simplifica la reutilización y el reciclaje. El sistema cuenta con la mejor eficiencia estacional real del mercado, lo que garantiza la máxima

Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

sostenibilidad a lo largo de todo su ciclo de vida. La tecnología permite un funcionamiento eficiente en habitaciones pequeñas sin necesidad de medidas adicionales. Las unidades interiores especialmente diseñadas para el R-32 ofrecen bajos niveles de ruido y máxima eficiencia. La flexibilidad de instalación es similar a la de los sistemas R-410A, con longitudes de tubería de hasta 165 metros y una longitud total de 1000 metros. La presión acústica puede ser tan baja como 40 dB(A) gracias a 5 pasos de bajo ruido, mientras que el ESP alcanza hasta 78 Pa para facilitar el conducto. El rango de funcionamiento se extiende desde +46 °C en refrigeración hasta -20 °C en calefacción. El VRV 5 incorpora las normas y tecnologías clave de VRV, incluyendo temperatura variable del refrigerante, calefacción continua, una pantalla de 7 segmentos, compresores totalmente inverter, un intercambiador de calor de 4 lados y PCB refrigerados por refrigerante.

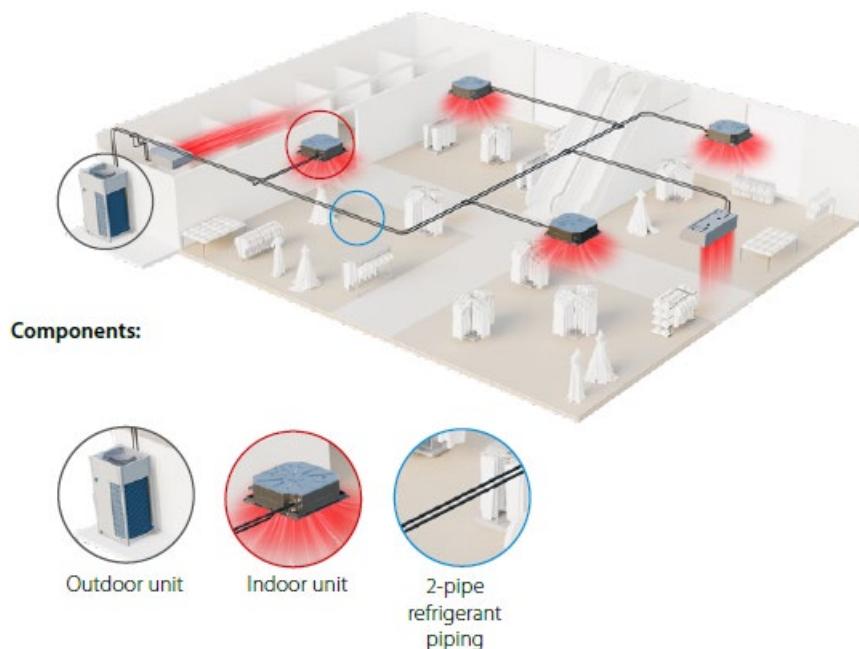


Figura 10: Sistema de bomba de calor VRV [7]

Para una mejor comprensión y comparación con el sistema de recuperación de calor VRV, en la tabla 4 se proporcionan las especificaciones técnicas de un sistema de bomba de calor VRV de la unidad exterior.

Tabla 4: Especificaciones técnicas del modelo de bomba de calor VRV RXYA8A de Daikin

Datos técnicos	Unidad de medida	Valor
Rango de capacidad	HP	20
Capacidad de refrigeración	kW	55,9
Capacidad de calefacción	kW	62,5
SEER	-	7,1

Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

SCOP	-	4,38
Nivel de presión acústica	dBA	56,3
Refrigerante	GWP	675

Una comparación de los datos de recuperación de calor VRV de la tabla 3 con los datos de la bomba de calor VRV de la tabla 4 revela un alto grado de similitud en la mayoría de los parámetros de rendimiento. La principal diferencia observada es un valor SEER un 1,5 % inferior para el sistema de bomba de calor.

Este análisis demuestra que, aunque el sistema de bomba de calor VRV presenta una eficiencia energética estacional ligeramente inferior en comparación con su homólogo de recuperación de calor, las características generales de rendimiento de ambos sistemas son muy similares. La elección entre estas dos tecnologías VRV dependerá probablemente de los requisitos específicos del proyecto y de consideraciones tales como la necesidad de calefacción y refrigeración simultáneas, las limitaciones de espacio disponible y el nivel de eficiencia energética deseado.

5.6.5. Bomba de calor tierra-agua

Las bombas de calor son un subsistema versátil y cada vez más popular dentro de los sistemas de climatización. Funcionan según el principio de transferir el calor en lugar de generarlo, lo que las hace muy eficientes desde el punto de vista energético.

El calor del suelo (Figura 11) se absorbe a través de un sistema cerrado de salmuera en el que circula una mezcla de agua y anticongelante. En el evaporador de la bomba de calor, la salmuera (agua mezclada con anticongelante, glicol o etanol) libera su energía al refrigerante, que se vaporiza para ser comprimido en el compresor. El refrigerante, cuya temperatura ha aumentado, pasa al condensador, donde cede su energía al circuito del medio calefactor y, si es necesario, a cualquier calentador de agua acoplado.

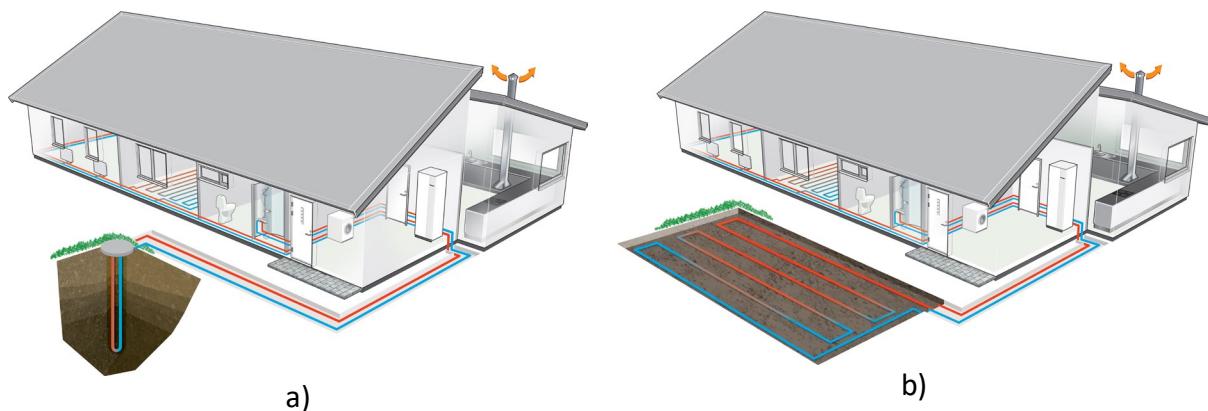


Figura 11: Bombas de calor geotérmicas: a) colectores de perforación; b) colectores horizontales en el suelo

La tabla 5 presenta los datos del coeficiente de rendimiento (COP) de una bomba de calor geotérmica Viessmann Vitocal 350-G Pro 352.A114 (B0/W35 114,2 kW) [8] que

Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

utiliza R134a como refrigerante. Los valores del COP se muestran en función de las diferentes temperaturas de la fuente de tierra, lo que proporciona información valiosa sobre la eficiencia de la bomba de calor en diferentes condiciones de funcionamiento.

Tabla 5: COP de la bomba de calor tierra-agua en función de las temperaturas del suelo

Temperaturas del suelo	Temperaturas del agua					
	35 [°C]	45 [°C]	50 [°C]	55 [°C]	65 [°C]	73 [°C]
	COP					
-5	3,9	3,26	2,99	2,75	2,32	2,02
0	4,41	3,61	3,29	3,01	2,53	2,2
5	4,92	3,99	3,63	3,3	2,76	2,39
10	5,41	4,46	4,02	3,64	3	2,59
15	6,42	5,01	4,48	4,04	3,29	2,82
20	7,32	5,67	5,04	4,5	3,65	3,1
25	8	6,49	5,56	4,9	4	3,4

Para comprender mejor los valores de COP presentados en la tabla anterior, la figura 12 ilustra la variación del COP en función de la temperatura de la fuente. Esta representación gráfica proporciona información valiosa sobre las tendencias de rendimiento del sistema en una amplia gama de condiciones de funcionamiento.

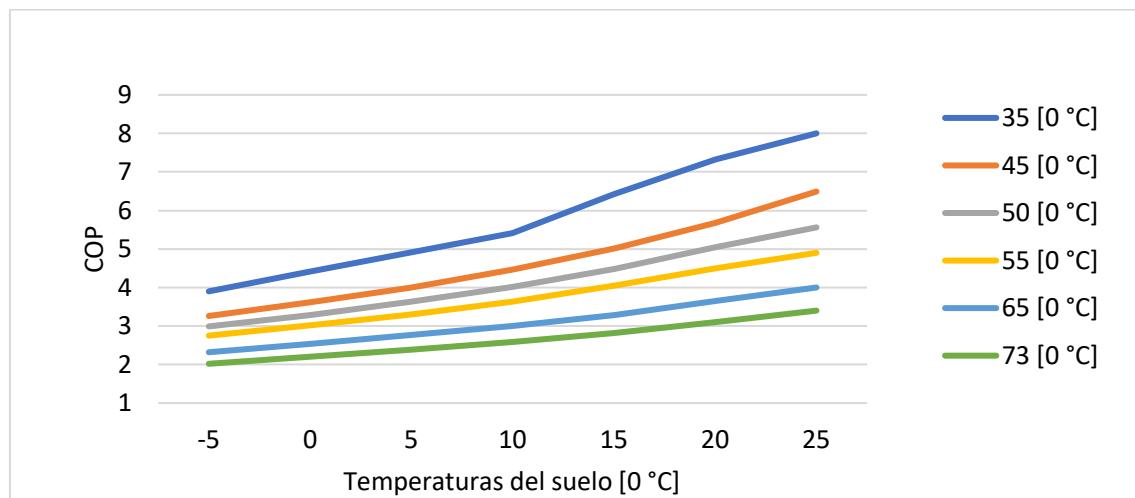


Figura 12: Variación del COP con la temperatura del suelo

Un análisis de la figura 12 revela una tendencia clara: el COP del sistema de bomba de calor geotérmica presenta sus valores más altos en condiciones en las que la temperatura del suelo es elevada y la temperatura del fluido calentado (salmuera) es significativamente más baja. Esta observación concuerda con los principios fundamentales del funcionamiento de las bombas de calor, según los cuales una menor diferencia de temperatura entre la fuente de calor (el suelo) y el fluido calentado (salmuera) suele dar lugar a una transferencia de calor más eficiente.

Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

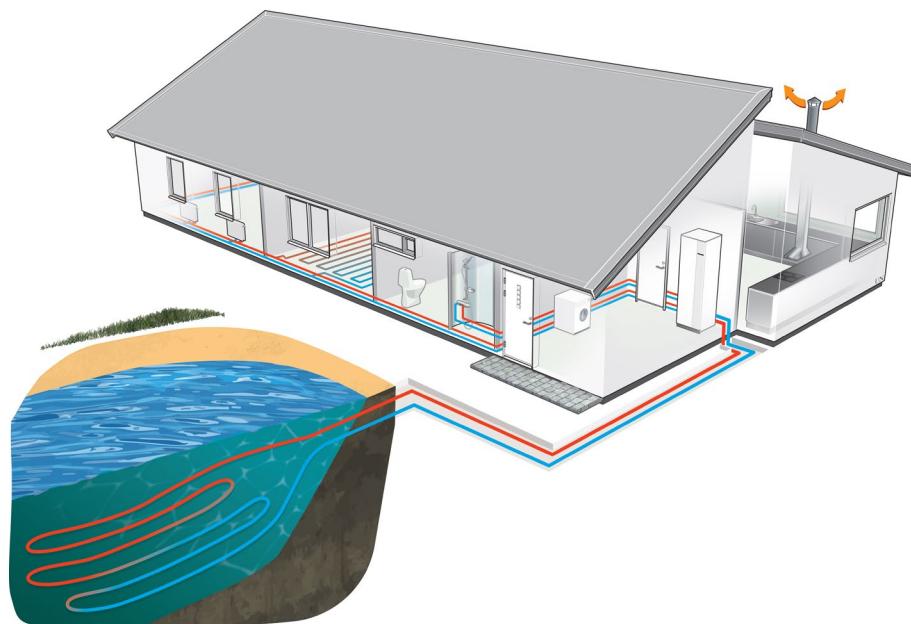
El mismo fenómeno se produce cuando nos referimos a la capacidad calorífica de la bomba de calor (véase la tabla 6).

Tabla 6: Capacidad calorífica de la bomba de calor tierra-agua en función de las temperaturas del suelo

Temperaturas del suelo	Temperaturas del agua					
	35 [°C]	45 [°C]	50 [°C]	55 [°C]	65 [°C]	73 [°C]
	Capacidad calorífica					
-5	90,5	81,5	76,5	71,5	61	52,6
0	114,2	101,6	96	90,2	78,1	68,3
5	136,1	124,6	118,3	111,7	98	86,6
10	158	151,2	144,1	136,5	120,8	107,6
15	196,1	181,3	173,3	164,8	146,7	131,5
20	228,2	215,7	206,8	197,2	177,3	160,1
25	254,5	241	239	221	201	191,9

5,6,6. Bomba de calor agua-agua

El principio de funcionamiento de una bomba de calor agua-agua es muy similar al de una bomba de calor geotérmica. Ambas funcionan transfiriendo energía térmica mediante un refrigerante. Sin embargo, una diferencia clave radica en la fuente de calor. Mientras que una bomba de calor geotérmica extrae el calor del suelo a través de un circuito de tuberías enterradas, una bomba de calor agua-agua (Figura 13) obtiene la energía térmica directamente de una masa de agua, como un lago, un río o un pozo. Esta interacción directa con el agua permite un intercambio de calor eficiente, lo que convierte a las bombas de calor agua-agua en una opción viable para aplicaciones de calefacción y refrigeración en diversos entornos.





Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

Figura 13: Bomba de calor con fuente de agua

Para facilitar la comparación entre los dos tipos de bombas de calor, la tabla 7 presenta los valores del coeficiente de rendimiento (COP) del modelo Vitocal 350-G Pro 352.A076 (W10/W35 106 kW) [8] junto con una alternativa de prestaciones similares. Este análisis comparativo destaca la superior eficiencia energética de la Vitocal 350-G Pro, que muestra un notable aumento del COP en comparación con el modelo tierra-agua.

Tabla 7: COP de la bomba de calor agua-agua en función de la temperatura del agua

Temperaturas del agua	Temperaturas del agua (interior)					
	35 [°C]	45 [°C]	50 [°C]	55 [°C]	65 [°C]	73 [°C]
	COP					
10	5,44	4,52	4,07	3,689	3,03	2,61
15	6,5	5,09	4,56	4,09	3,34	2,85
20	7,53	5,78	5,13	4,58	3,71	3,15
25	8,2	6,1	5,4	4,9	4,11	3,47

5.6.7. Bomba de calor aire-agua

Las bombas de calor aire-agua funcionan extrayendo calor del aire circundante, al igual que otros tipos de bombas de calor, y transfiriéndolo a un sistema de calefacción basado en agua a través de un ciclo refrigerante. Esto las convierte en una solución fácilmente accesible y rentable para muchas aplicaciones.

Las características principales de las bombas de calor aire-agua incluyen su capacidad para extraer calor del aire ambiente, proporcionando tanto calefacción como refrigeración, y siendo generalmente menos costosas de instalar en comparación con los sistemas geotérmicos. Su accesibilidad se debe a su amplia disponibilidad y a su idoneidad para una gran variedad de aplicaciones.

Para facilitar un análisis comparativo exhaustivo de las diferentes tecnologías de bombas de calor, las tablas 8 y 9 presentan las especificaciones técnicas de una bomba de calor aire-agua del mismo fabricante Viessman: la Vitocal 300-A 302.B60 [8], equipada con dos compresores.

La inclusión de una bomba de calor aire-agua junto con las bombas de calor geotérmicas y acopladas a agua permite evaluar directamente las características clave de rendimiento, como el COP y la capacidad de calefacción. Al examinar estas especificaciones, se pueden identificar fácilmente las ventajas y desventajas de cada tecnología, lo que permite tomar decisiones informadas a la hora de seleccionar el sistema de bomba de calor más adecuado para los requisitos específicos de cada proyecto.

Tabla 8: COP de la bomba de calor aire-agua en función de las temperaturas exteriores

	Temperaturas del agua





Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

Temperaturas exteriores	35 [° C]	45 [° C]	55 [° C]
	COP		
-22	1,8	1,6	-
-15	2,3	2,1	1,7
-7	2,9	2,6	2,3
2	3,6	3	2,6
7	4	3	3
10	4,4	3,7	3,2
12	4,5	3,8	3,3
20	4,9	4,2	3,5
25	5,2	4,3	3,7
30	5,4	4,5	3,8
35	5,7	4,7	3,9

Tabla 9: Capacidad calorífica de la bomba de calor aire-agua en función de la temperatura exterior

Temperaturas exteriores	Temperaturas del agua		
	35 [° C]	45 [° C]	55 [° C]
	Capacidad de calefacción		
-22	44	39,6	-
-15	59	55,4	51
-7	76,2	73,4	70,4
2	94,4	90,2	86
7	111,6	112,2	112,8
10	122,8	121,2	120,6
12	128,8	127,2	125,8
20	145,2	139,8	134,6
25	154,4	147,8	140,8
30	164,6	155,8	147,2
35	174	163,8	153,4

Es importante tener en cuenta que la eficiencia de las bombas de calor aire-agua puede variar debido a las importantes variaciones de la temperatura del aire exterior, especialmente en climas más fríos. Además, las unidades exteriores pueden generar ruido, lo que puede suponer un problema en algunas instalaciones.

La elección de la tecnología de la bomba de calor (geotérmica, acoplada al agua o acoplada al aire) influye significativamente en el rendimiento del sistema, la complejidad de la instalación y el coste total. Las bombas de calor acopladas al agua y las bombas de





Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

calor geotérmicas suelen presentar la mayor eficiencia debido a la estabilidad de la temperatura a lo largo del año, pero requieren fuentes de agua disponibles y una instalación extensa de circuitos subterráneos, mientras que las bombas de calor acopladas al aire ofrecen una solución más accesible y rentable con una gama más amplia de aplicaciones.

En última instancia, la elección óptima depende de diversos factores, entre los que se incluyen las condiciones climáticas, las consideraciones específicas del emplazamiento, los recursos disponibles y los requisitos individuales del proyecto. Una evaluación exhaustiva de estos factores, junto con un análisis completo de las especificaciones técnicas y los datos de rendimiento de cada sistema, es fundamental para garantizar la selección de la solución de bomba de calor más adecuada y rentable para una aplicación determinada.

Referencias

- [1] ANSI/AHRI 210/240-2008: Norma de 2008 para la clasificación del rendimiento de equipos unitarios de aire acondicionado y bombas de calor con fuente de aire. Instituto de Aire Acondicionado, Calefacción y Refrigeración. 2008.
- [2] <https://www.americanstandardair.com/resources/blog/what-is-seer/> (consultado el 17 de diciembre de 2024).
- [3] <https://control.com/technical-articles/the-layers-of-modern-building-automation-system-architecture/> (consultado el 17 de diciembre de 2024).
- [4] <https://www.iea.org/reports/renewables-2024/global-overview> (consultado el 9 de enero de 2025).
- [5] <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/renewable-energy-progress-tracker> (consultado el 14 de enero de 2025).
- [6] https://www.daikinmea.com/en_us/product-group/chillers.html (consultado el 14 de enero de 2025).
- [7] https://www.daikinmea.com/en_us/product-group/air-handling-units.html (consultado el 14 de enero de 2025).
- [8] <https://www.viessmann.ro/ro/cunostinte/tehnologie-sistem/pompe-caldura.html> (consultado el 15 de enero de 2025).

6 - Entregables

Para evaluar el éxito del tutorial, sugerimos que los estudiantes respondan a un cuestionario en línea.





Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejoras en los sistemas de climatización

7- Lo que hemos aprendido

Diferentes escalas para evaluar la eficiencia energética de los edificios.

Las métricas científicas de los sistemas de climatización.

Estrategias para optimizar los sistemas de climatización.

Sistemas de automatización de edificios.

Qué fuentes renovables se pueden integrar en los sistemas de climatización.

Datos estadísticos y previsiones en materia de consumo de calor renovable.

Diferencias en las métricas científicas entre los distintos tipos de sistemas HVAC.