

AHORRO ENERGÉTICO Y APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EN LA CLIMATIZACIÓN DE EDIFICIOS

Ing. Néstor Quadri

Ahorrar energía ha dejado de ser ya una opción para convertirse en una necesidad para hacer frente al déficit originado por el incesante aumento del consumo y utilizarla eficazmente constituye la alternativa más efectiva para la protección medio ambiental. Desde este punto de vista, este artículo pretende fijar los criterios básicos de eficiencia energética en el diseño de los sistemas de climatización de edificios que generalmente constituyen el principal consumidor en los edificios y que deben ser ampliamente difundidos porque es indispensable crear una conciencia colectiva sobre su uso racional.

Generalidades

Un sistema de climatización bien proyectado y ejecutado, orientado hacia el ahorro de energía, debe contar con equipos eficientes, uso de combustibles económicos o fuentes de energía alternativas y a esto debe agregarse una correcta operación, tanto en lo relativo a la producción de los fluidos portadores como a la zonificación de los espacios, la flexibilidad de funcionamiento y el adecuado control de temperaturas, velocidad de distribución de fluidos y tiempos de utilización.

Las posibilidades de ahorro energético en el diseño de las instalaciones de climatización son muchísimas, pero para lograr la mejor solución, es indispensable que haya una adecuada conjunción con el proyecto del edificio, dado que ambos *conforman un conjunto indivisible*. Las características arquitectónicas del edificio como las propiedades térmicas de la envolvente, orientación de fachadas, distribución de los espacios interiores, así como la aplicación de un eficiente aislamiento térmico y la mejora en la hermeticidad de los cerramientos es fundamental, dado que ello implica equipos más pequeños con menor consumo energético durante toda la vida útil.

La eficiencia de esa demanda de energía depende, a su vez, del rendimiento de todos y cada uno de los equipos que componen la instalación, la utilización de energías residuales, el aprovechamiento de fuentes gratuitas como la energía solar, la entalpía del aire exterior, el uso de sistemas de enfriamiento evaporativo, y en general, el empleo de todos aquellos sistemas, aparatos y dispositivos que permitan la reducción del consumo de energía procedente de fuentes convencionales.

El diseño general de la instalación debe ser eficiente y a través del mantenimiento, la permanencia en el tiempo de las prestaciones y el rendimiento de todos sus componentes deben mantenerse, durante la vida útil prevista.

La implantación de sistemas centralizados o descentralizados de generación para satisfacer las demandas térmicas de un edificio debe seleccionarse con criterios que persigan el mayor rendimiento energético y el menor impacto ambiental.

Con el fin de conseguir que la producción centralizada se aproxime lo más posible al régimen con rendimiento máximo, es necesario disponer de equipos en número, potencia y tipos adecuados a la demanda de energía térmica de la instalación.

Para ello, es necesario establecer las distintas tecnologías a emplear ya sea agua fría o expansión directa, los tipos de condensación a agua o aire, etc., considerando el diseño de la instalación para la función a que va a ser utilizada.

Métodos de aplicación

Existen numerosas tecnologías y medios de aplicación para disminuir el consumo energético, por lo que se deben analizar las características particularidades de cada caso, de modo de aplicar conceptos de diseño en la selección de los sistemas, que permitan obtener menores gastos en la fase de explotación y mantenimiento, pudiéndose considerar para su estudio los siguientes parámetros básicos:

- Disminución de las necesidades de energía en el diseño del edificio
- Utilización de energías gratuitas.
- Aprovechamiento de los calores residuales
- Incremento de la eficiencia energética
- Estudios específicos e inversiones

DISMINUCIÓN DE NECESIDADES DE ENERGÍA EN EL DISEÑO DEL EDIFICIO

La ejecución de un edificio energéticamente eficiente requiere evaluar numerosas alternativas en la que tienen primordial importancia los estudios del comportamiento y rendimiento térmico y su dependencia con la relación entre forma edilicia y volumen, adicionalmente a las características del envolvente y el diseño de la capacidad de acumulación térmica

Estos conceptos básicos sumado al aprovechamiento pasivo y activo de la energía solar, deben estar en la concepción inicial de todo diseño de arquitectura y no se debe hacer un proyecto de aire acondicionado sin verificar previamente estos aspectos.

En nuestro país ubicado en el hemisferio sur, la orientación óptima es la norte, siendo conveniente adoptar una forma alargada en el sentido norte-sur, que favorece los efectos de ventilación y circulación de aire entre los espacios del edificio. Los locales de servicio y sus pasillos como se observa en la figura 1, así como garajes, galerías, escaleras, etc., deben orientarse al sur o sureste.

Al ser estas las orientaciones más desfavorables, actúan como espacios reguladores o volantes térmicos.

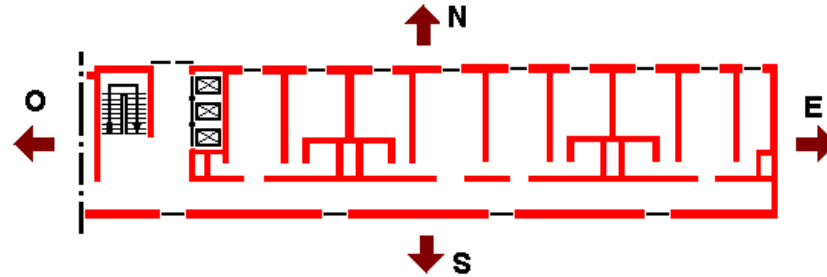


Figura 1. Disposición de espacios energéticamente conveniente en un edificio

Las habitaciones de mayor utilización como el living, comedor, cocinas, etc. deben estar sobre las orientaciones más soleadas como el norte o noroeste. Los dormitorios deben orientarse en lo posible al noreste.

Los vidrios de las ventanas actúan como *una trampa de calor* dado que dejan pasar la luz solar, pero la radiación calórica invisible que emiten a su vez los objetos, no pasan, como se observa en la figura 2. A esto se lo denomina *efecto invernadero* que si bien es beneficioso en invierno, hace que en verano deba protegerse adecuadamente las ventanas mediante persianas o cortinas exteriores.

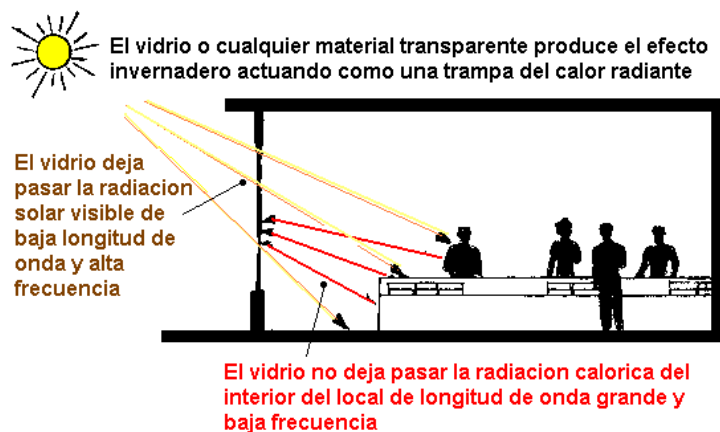


Figura 2. Efecto invernadero

Otro elemento importante de protección solar además de los árboles de hoja caducas son los parasoles.

En las fachadas norte los parasoles deben ser horizontales y en las este y oeste, siempre verticales y móviles, como se muestra en la figura 3.

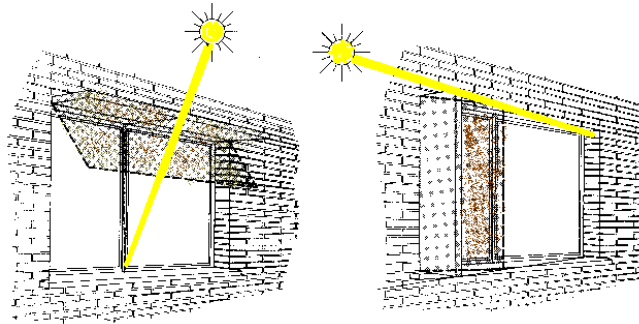


Figura 3. Disposición más conveniente de parasoles

El aislamiento térmico de los edificios es un elemento fundamental, dado que permite reducir la carga térmica de los equipos de acondicionamiento. A su vez es necesario el de las propias instalaciones de aire acondicionado, como el caso de cañerías o conductos, para evitar pérdidas de calor innecesarias, como se indica en la figura 4



Figura 4. Aislamiento de edificio e instalaciones

En el diseño lumínico es importante la utilización de lámparas de alto rendimiento como se detalla en la figura 5 y automatizar su funcionamiento. Debe lograrse menor consumo eléctrico y disipación de calor, evitando en lo posible lámparas incandescentes.

En invierno si bien es útil, es caro porque es derivado de la transformación eléctrica. Se puede emitir 4 veces más de luz con el mismo consumo eléctrico

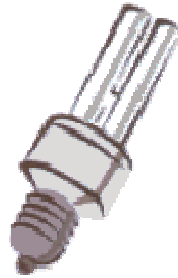


Figura 5. Empleo de luminarias de alta eficiencia

UTILIZACIÓN DE ENERGÍAS GRATUITAS

Además de *la energía solar* que es un tema específico que se tratará por separado, se pueden mencionar tres tipos básicos aprovechamientos energéticos.

- Entalpía del aire exterior (Free- cooling)
- Enfriamiento evaporativo
- Enfriamiento natural

Free-cooling

Una de las formas de reducir el consumo energético es el empleo del sistema economizador denominado *free-cooling de aire exterior* para aprovechar su baja cantidad de calor cuando las condiciones exteriores son favorables, especialmente para disminuir el uso de los equipos de refrigeración en verano.

En el esquema de la figura 6 se detalla el procedimiento usual para llevarlo a cabo, contando el sistema con un ventilador en la línea de retorno, que puede canalizar dicho aire eliminándolo hacia el exterior, o recirculándolo hacia la unidad de tratamiento de aire.

La regulación de las proporciones de aire se realiza mediante un juego de apertura y cierre de tres persianas modulantes sincronizadas automáticamente, comandadas por un controlador con un sensor exterior e interior. De esa manera cuando se requiere

más aire exterior, se va abriendo la persiana de entrada de aire, se va cerrando la del aire recirculado y se va abriendo la del aire expulsado al exterior.

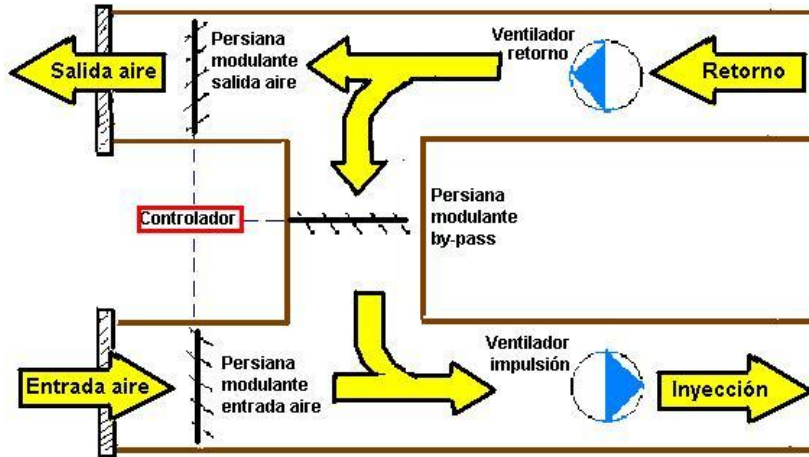


Figura 6. Esquema de funcionamiento de free-cooling

Se pueden plantear los siguientes casos de operación:

- Temperatura del aire exterior menor que la del aire de impulsión
- Temperatura del aire exterior mayor que la temperatura del aire de impulsión, pero menor que la del aire de retorno de los locales
- Temperatura del aire exterior mayor que la temperatura del aire de retorno de los locales.

En el gráfico de la figura 7 se representa el procedimiento descrito anteriormente, considerando una temperatura del aire del local o de retorno de 25°C y una temperatura mínima de impulsión de 15°C en el pico de carga del local a las 15 horas. Se observa que durante el intervalo horario AB, la temperatura del aire de impulsión es menor que el de impulsión de modo que el sistema modula las compuertas hasta lograr que la mezcla del aire exterior con el aire recirculado alcance el valor determinado por la curva de temperatura de impulsión, *siendo innecesaria la producción de frío*, por lo que, el enfriamiento gratuito.

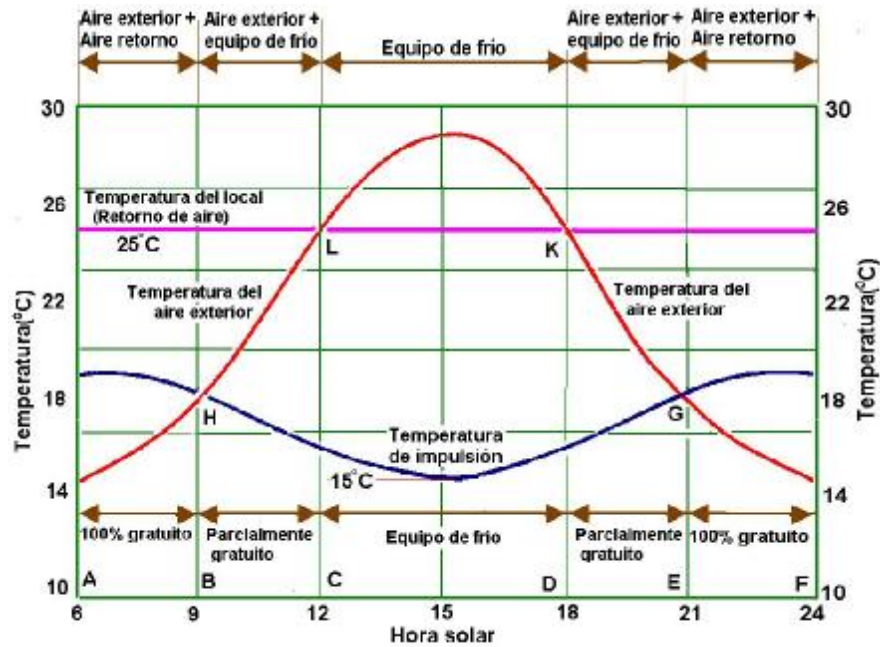


Figura 7. Gráfico de regulación de un free-cooling

En el intervalo BC la temperatura del aire exterior es mayor que la de impulsión pero inferior a la temperatura de retorno que es la del local, en ese ínterin el sistema frigorífico debe operar parcialmente para bajar la temperatura del aire exterior que se introduce en un 100% hasta alcanzar la temperatura de impulsión requerido por los locales y cuando la *temperatura del aire exterior alcanza a la del local (punto L) constituye el límite del enfriamiento gratuito*.

Por último, durante el período CD, donde la temperatura del aire exterior es superior a la de retorno de los locales, la instalación funciona en forma convencional, ingresando sólo el aire exterior necesario para satisfacer las condiciones de ventilación de los locales. Los intervalos DE y EF son similares a los BC y AB.

El sistema descrito precedentemente se basa en el *control por temperatura* del aire exterior, pero en algunos casos es conveniente efectuar lo que se denomina *control entálpico*.

En la figura 8 se representa el proceso anteriormente descrito en el ábaco psicrométrico. Si el control del free-cooling es por temperatura como el descrito precedentemente, existe una zona comprendida entre la temperatura de bulbo seco del local, la temperatura de bulbo húmedo y la curva de saturación indicada en el gráfico, que demuestra que si bien la temperatura seca del aire exterior es menor que la del retorno o la del local y por lo tanto puede absorber calor sensible del mismo, *la*

entalpía del aire exterior es mayor que la del aire del local, por lo que es contraproducente su ingreso en el sistema.

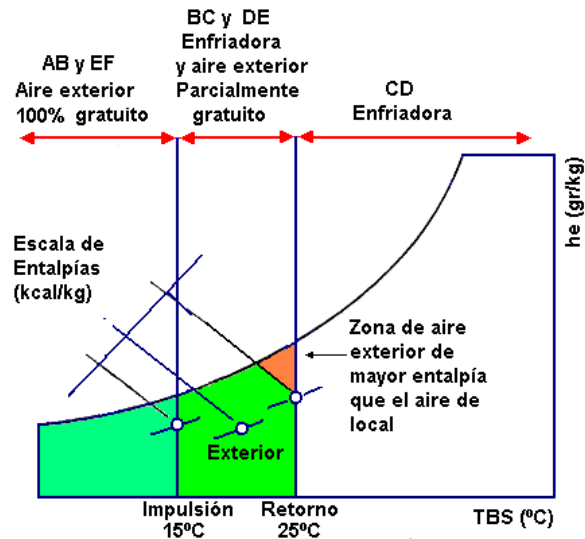


Figura 8 .Esquema en abaco psicrométrico de la regulación del free-cooling

Por ello, en zonas donde durante un elevado número de días se produce esa circunstancia *debe siempre efectuarse un control entálpico* del sistema. El mismo consiste en determinar en todo momento los parámetros de temperatura y humedad, integrando automáticamente la entalpía y cantidad de calor del aire exterior y el de retorno de los locales.

En general estos sistemas son muy interesantes en locales que demandan refrigeración durante muchas horas al año, incluso en invierno, debido a la alta carga interna de iluminación y personas. Adicionalmente la operación del free-cooling aporta un alto grado de ventilación, que mejora la calidad del aire interior y el aire de ventilación que debe expulsarse al exterior por medios mecánicos puede ser empleado con recuperadores de calor.

Se ha determinado que este sistema es conveniente cuando el caudal de climatización es mayor que 200 m³/min (alrededor de 20 toneladas de refrigeración) y su régimen de funcionamiento sobrepase mil horas por año.

La instalación de un free-cooling puede realizarse en forma muy sencilla con un equipo autocontenido con pleno de mezcla y persianas de regulación, como se detalla en la figura 9, en la que se ha simplificado el montaje, sin el empleo de ventiladores para la succión ó expulsión del aire.



Figura 9. Esquema sencillo de aplicación de un free-cooling

El *mantenimiento de la limpieza de los filtros* es muy importante en los sistemas con free-cooling debido a que el caudal circulante de aire exterior es mucho mayor que en los sistemas convencionales. Es conveniente para mejorar las operaciones de mantenimiento, utilizar sensores que detecten la diferencia de presión antes y después del filtro y si superan un límite preestablecido accione una alarma mediante un dispositivo de control.

En la figura 10 se muestra el detalle de funcionamiento de un sistema free-cooling instalado en un equipo autocontenido estándar denominado *mochila*, porque se lo instala colgado directamente sobre una pared exterior, especialmente en shelter, contenedores o edificios pequeños destinados a refrigerar locales de telefonía, centros de cómputos, sala con dispositivos eléctricos, transformadores, etc. ubicados en sitios remotos.

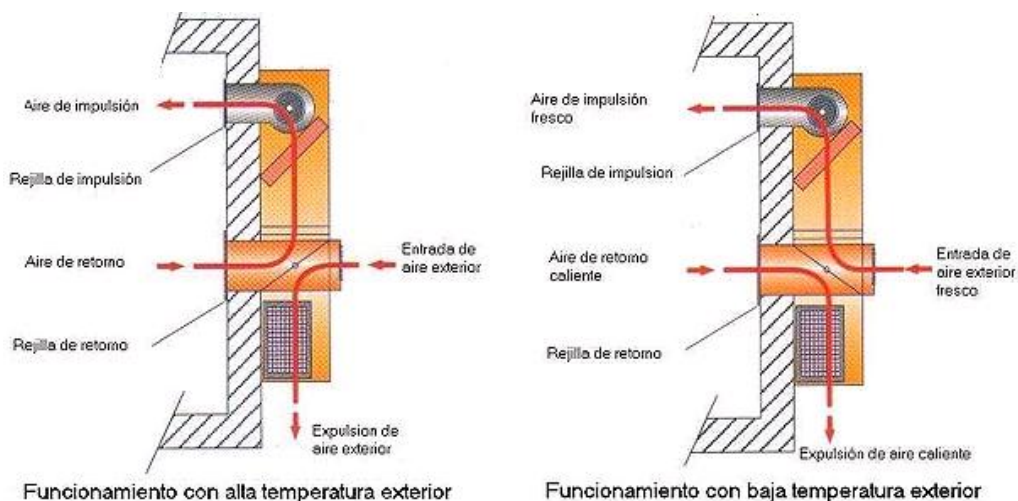


Figura 10. Modo de operación de free-cooling en equipos tipo mochila

Enfriamiento evaporativo

El enfriamiento evaporativo del aire se basa en la transferencia de calor sensible del aire seco a una masa de agua para evaporarla, distribuyéndose el aire mediante un ventilador como se observa en el esquema de la figura 11.

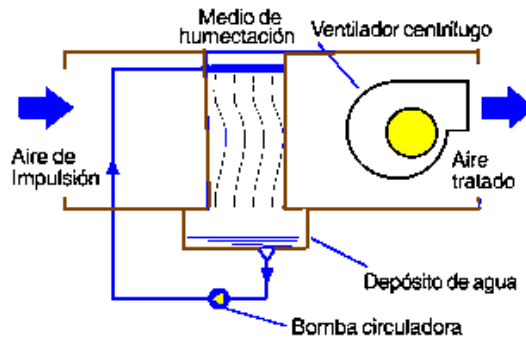


Figura 11. Esquema de equipo de enfriamiento evaporativo

El proceso es adiabático o a calor constante, porque el aire cede calor sensible que se convierte en calor latente de su contenido de humedad, siguiendo un proceso de temperatura de bulbo húmedo constante, como se observa en el gráfico psicrométrico de la figura 12.

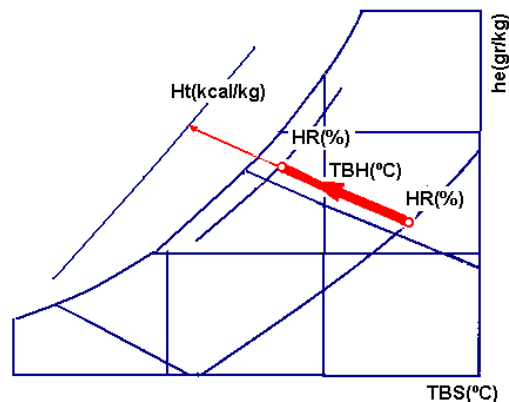


Figura 12. Proceso de enfriamiento evaporativo en ábaco psicrométrico

Para realizar el enfriamiento evaporativo es necesario que se den en el clima exterior dos requisitos básicos:

- Elevadas temperatura exteriores de bulbo seco
- Temperatura de bulbo húmedo relativamente baja

De modo que sólo se justifica su aplicación en climas exteriores cálidos y secos. Los sistemas evaporativos solo pueden disminuir la temperatura del ambiente algunos grados y ventilar, pero agregan vapor de agua a los ambientes. Su aplicación entonces puede ser para locales de procesos industriales, criaderos, grandes espacios de circulación, etc., donde el efecto de humedad no constituya un inconveniente. Actualmente se fabrican equipos compactos autocontenidos de enfriamiento directo que van desde las prestaciones individuales a equipos de mayor tamaño para montarse sobre techo o paredes con conductos, similares a los equipos roof-top, como se muestra en la figura 13.

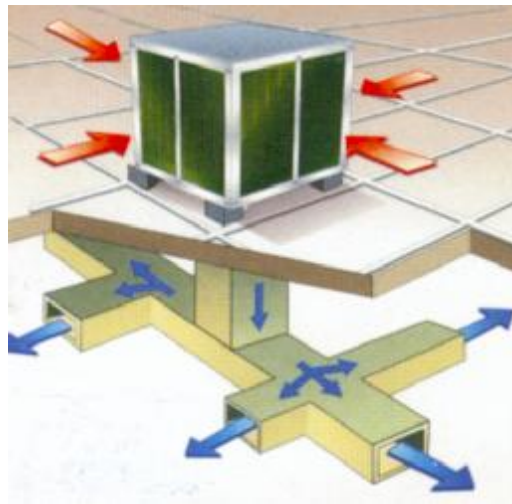


Figura 13. Detalle de equipo compacto autocontenido para enfriamiento evaporativo

Enfriamiento natural

En climas de gran amplitud térmica diaria se puede aprovechar el aire fresco nocturno para enfriar agua, como el que se observa en la figura 14

Durante la noche el agua se enfría en el serpentín exterior y al hacerse más pesada descende ocupando la parte inferior del tanque y el serpentín interior. Durante el día el agua en el serpentín interior absorbe la disipación interna del local y al calentarse asciende al tanque. El sol calienta el agua del serpentín exterior pero al ser más liviana queda prácticamente estratificada en el mismo.

En la práctica se suelen utilizar en lugar de agua, substancias refrigerantes que se solidifican durante la noche y se funden durante el día.

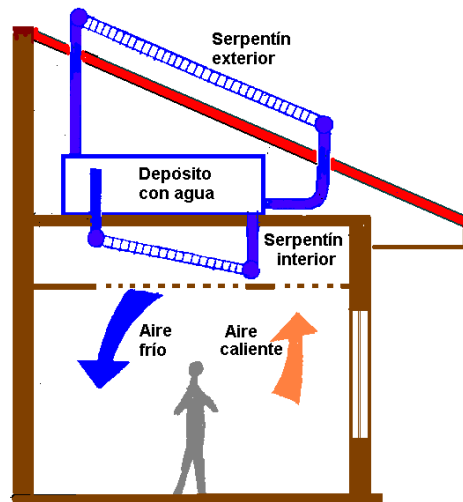


Figura 14. Esquema de sistema de enfriamiento natural

FORMAS DE APROVECHAMIENTO DE LOS CALORES RESIDUALES

Se pueden mencionar los siguientes métodos:

- Recuperación del aire de descarga de ventilación.
- Bombeo del calor del aire exterior.
- Desplazamiento del calor en el edificio.
- Utilización de calores disipados.
- Almacenamiento térmico.

Recuperación del calor del aire de descarga de ventilación

Existen períodos en que el aire exterior es energéticamente favorable en verano con temperaturas menores que las requeridas en el interior de los locales acondicionados. Como el caudal de aire nuevo a introducir es similar al que se extrae y elimina contaminado al exterior, la recuperación de ese calor de los locales para transferirlo al aire nuevo a incorporar, es un método que permite reducir la carga de ventilación, como se observa en la figura 15.

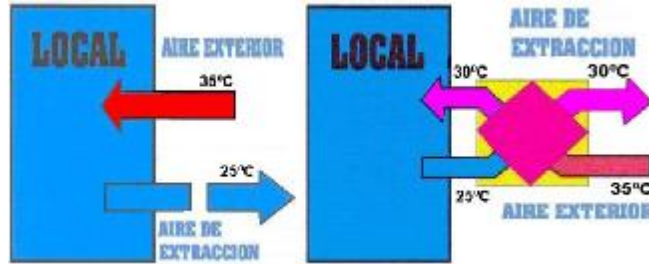


Figura 15. Ahorro energético en verano aprovechando el aire de extracción

El empleo de recuperadores de calor en instalaciones de climatización permite utilizar el calor sensible y latente residual del propio proceso de acondicionamiento, consiguiendo así:

- Reducir la capacidad de los equipamientos (costos de inversión).
- Reducir el consumo de energía de funcionamiento (costos de explotación)

Al igual que los free-cooling, se recomienda su instalación cuando el caudal de aire excede de 200 m³/min (alrededor de 20 toneladas) y su régimen de funcionamiento sobrepasa las mil horas por año. El diseño del recuperador debe tener un rendimiento superior al 45%, en las condiciones más extremas de diseño y para ello existen varios tipos de recuperadores, los que pueden clasificar en dos grupo básicos según su aplicación:

- Recuperadores sensibles
- Recuperadores entálpicos

Los *recuperadores de calor sensible*, realizan exclusivamente la transferencia del calor en función de la diferencia de temperatura entre ambos flujos de aire. El recuperador *aire- aire* es el más común donde el intercambio de calor se produce a través de un conjunto de placas de metálicas muy próximas y paralelas, al provocarse los flujos de aire cruzados que no llegan a mezclarse, tal como se muestra en el modelo de la figura 16.

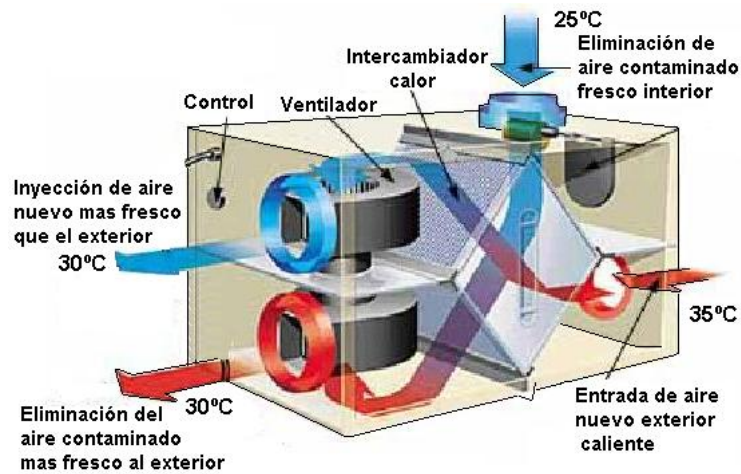


Figura 16. Recuperador de calor sensible aire-aire

Los rendimientos de recuperación son del 50 al 60% del calor sensible.

Los *recuperadores entálpicos* aprovechan además del calor sensible, el calor latente contenido en la humedad del aire de extracción.

Se suele utilizar el *recuperador rotativo* que está constituido por un panel circular de cartón endurecido, plástico o aluminio, formando pequeñas celdillas recubiertas por una capa viscosa inorgánica e higroscópica.

Cada uno de los flujos de aire atraviesa un semicírculo cediéndole sus propiedades entálpicas al panel, mientras éste gira de forma que la masa acumuladora permeable, capta calor del flujo de aire caliente y al girar lo cede al flujo de aire frío, tal cual se indica en la figura 17.

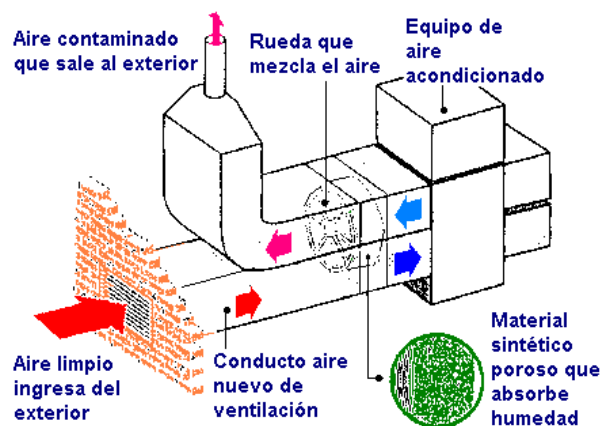


Figura 17. Recuperador entálpico rotativo

La eficiencia del recuperador varía con velocidad de rotación, la velocidad frontal del aire y la densidad del material que constituye el rotor. La velocidad de giro puede ser constante o variable mediante regulación electrónica, para optimizar la eficiencia del intercambio térmico.

El rendimiento de estos recuperadores pueden llegar al 75%

Muchas veces se suele aprovechar la recuperación del calor del aire interior contaminado que se elimina al exterior en *forma conjunta con el free-cooling* cuando las condiciones son favorables del aire exterior, tal cual se muestra en el esquema simplificado de la figura 18.



Figura 18. Recuperación de calor y free-cooling conjuntos

Bombeo del calor del aire exterior

Un equipo de refrigeración es una bomba de calor que extrae el calor interior en verano de una fuente de baja temperatura y lo elimina al exterior a una de alta temperatura. Sin embargo, una máquina refrigerante puede hacerse funcionar en invierno a los fines de calefacción invirtiendo el ciclo, de manera de extraer calor de una fuente externa fría como por ejemplo el aire exterior en invierno, para entregarlo a una fuente interna más caliente como puede ser el aire del local en esa época del año. A esa forma de calentamiento aprovechando la bomba de calor de un equipo de refrigeración se la denomina *calefacción mecánica*.

Para explicar en forma simple esa propiedad bastaría hipotéticamente girar físicamente el equipo de aire acondicionado como se observa en la figura 19.

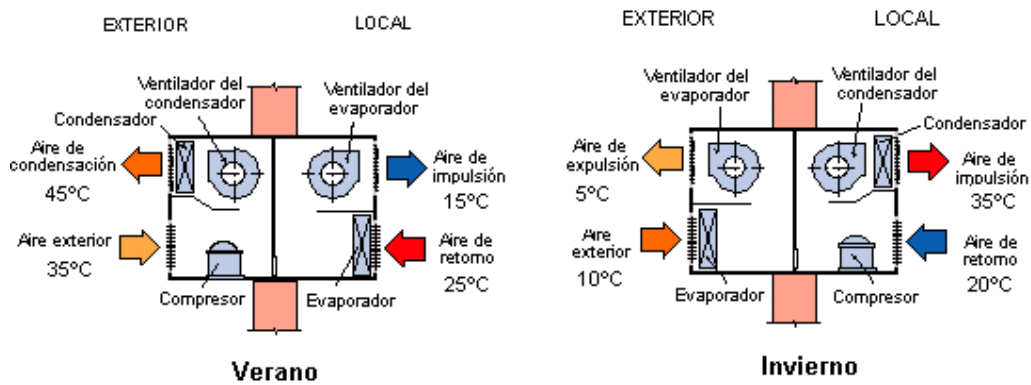


Figura 19. Concepto de la inversión de la bomba de calor en verano e invierno

Como ello en la práctica sería muy complicado, se logra el mismo objetivo *inviertiendo el ciclo frigorífico* mediante la aplicación de una simple *válvula inversora* que controla el sentido de circulación del refrigerante a través del sistema, consistiendo en una válvula de 4 vías del tipo *corredera* como se detalla en la figura 20.

En general, suele estimarse la eficiencia o performance de una bomba de calor por el cociente entre la energía entregada al local o *efecto útil* y la energía absorbida de la red eléctrica.

El coeficiente de comportamiento de las bombas de calor para invierno es mayor que para verano, dado que se agrega el calor disipado por el compresor en el ciclo frigorífico como efecto útil. Puede considerarse que un equipo que funcione con una temperatura de aire exterior a 5°C y una temperatura interior de 21°C, la eficiencia energética debería ser como mínimo 3 veces la de una resistencia eléctrica.

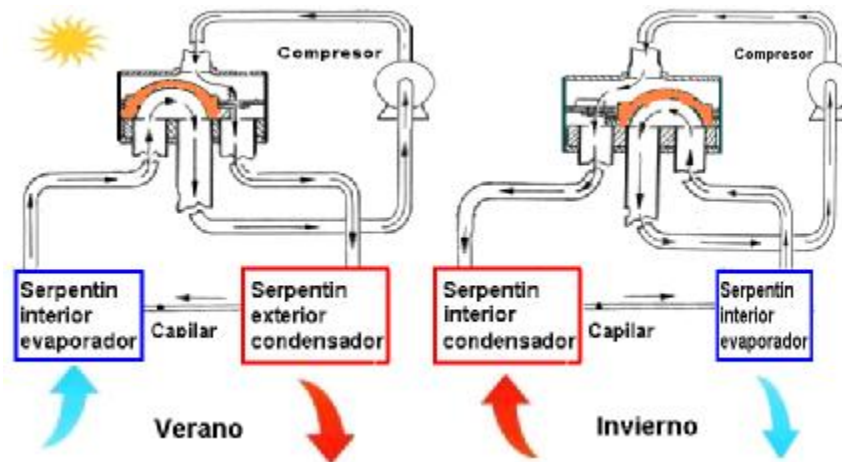


Figura 20. Esquema de inversión del ciclo con la válvula inversora

De esa manera, utilizando resistencias eléctricas para calefacción, se *transforma directamente la energía eléctrica en calórica* y por efecto Joule vale: 1 Watt = 0,86 kcal/h.

Con la bomba de calor como se muestra en la figura 21, sólo se utiliza la energía eléctrica para accionar el motor del compresor a fin de bombear del calor de la fuente de menor a la de mayor temperatura, de modo que: $1 \text{ Watt} = 0,86 \text{ kcal/h} \times 3 = 2,58 \cong 2,6 \text{ kcal/h}$.

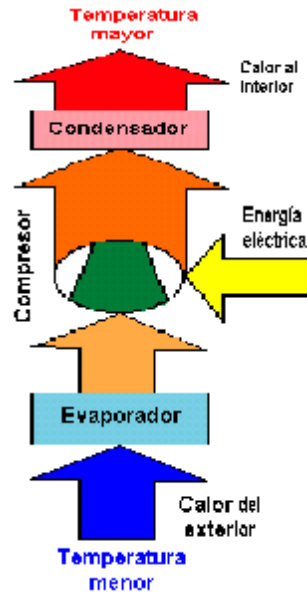


Figura 21. Esquema energético de la bomba de calor

Desplazamiento del calor en el edificio

Una aplicación importante de la bomba de calor de un ciclo frigorífico en el *diseño de sistemas de acondicionamiento específicos* que permiten el *desplazamiento del calor* de una parte a otra del edificio como efecto útil para atender las necesidades térmicas, con un gran ahorro energético. Este método, se aplica particularmente a los grandes edificios, donde el calor sobrante de algunas zonas, en vez de eliminarse en el exterior, se transfiere a zonas que lo requieren, especialmente zonas periféricas o perimetrales.

Por ejemplo en un piso tipo de un edificio en torre, en invierno se necesita calefacción en las áreas perimetrales y en las centrales como no hay transferencia de calor, la disipación interna del propio local genera un aumento de temperatura que requiere refrigeración en esa época del año

Si idealmente en una oficina en torre se ubicaran en invierno equipos compactos de aire acondicionado en el límite de las zonas perimetrales y la central, como se indica en la figura 22, se podría simultáneamente:

- Por una cara refrigerar el centro caliente
- Por la otra calefaccionar el perímetro exterior frío

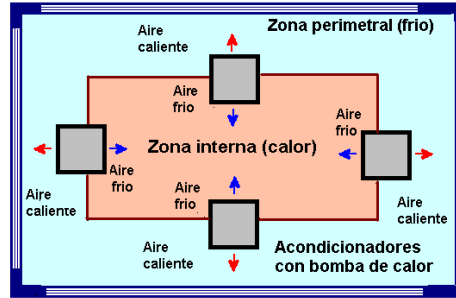


Figura 22. Zonas características de un edificio en torre en invierno

Sobre la base de esta idea, se han desarrollado dos sistemas característicos de acondicionamiento orientados hacia el ahorro energético, que permiten el desplazamiento del calor mediante una adecuada zonificación y fraccionamiento de los equipamientos en los edificios, que son:

- VRV (volumen refrigerante variable): sistema multisplit aire-aire
- WSHP (water source heat pump): sistema aire-agua

En los sistemas VRV se utiliza un *controlador de bomba de calor* (BC) que es un dispositivo que conecta las unidades interiores con las exteriores y distribuye el refrigerante a las interiores de acuerdo al modo de funcionamiento ya sea calefacción o refrigeración, separando el refrigerante gaseoso a alta presión destinado a las unidades que suministran calefacción, del refrigerante líquido para las unidades en refrigeración, como se muestra en la figura 23.



Figura 23. Esquema funcionamiento sistema multsplit VRV operando como bomba de calor

En los sistemas WSHP la bomba de agua del circuito cerrado de condensación que vincula a los equipos frigoríficos provistos con válvula inversora del ciclo, mantiene la circulación permanente para transferir el calor entre los mismos.

De esa forma, las unidades que están dando refrigeración entregan calor al agua del circuito cerrado y tienden a subir su temperatura y las que suministran calefacción absorben el calor del agua y tienden a bajar su temperatura, tal cual se muestra en el esquema de la figura 24.

Si en un momento dado una parte de las unidades en operación están refrigerando y otras de las unidades están calefaccionando (generalmente 2/3 y 1/3), el sistema en principio está en equilibrio con su propia masa de agua, siendo innecesario hasta ese límite el funcionamiento de los elementos suplementarios que está constituido por una torre de enfriamiento en circuito cerrado y de una caldera de agua caliente.

Al aumentar las necesidades de las unidades de calefacción o refrigeración, toda el agua del circuito general del sistema debe calentarse hasta más de 30°C para que arranque la torre de enfriamiento o enfriarse menos de 15°C para que lo haga la caldera de agua caliente.

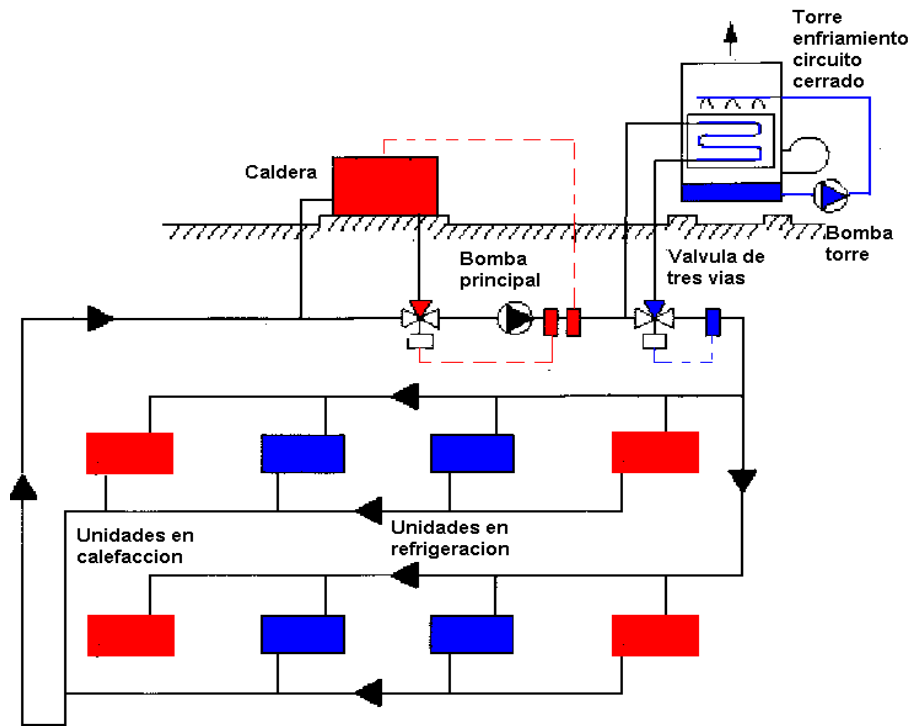


Figura 24. Esquema de operación de sistema WSHP operando como bomba de calor

Otra forma de aplicar el desplazamiento de calor como efecto útil, es mediante una unidad enfriadora diseñada para funcionar simultáneamente en frío y calor, con producción de agua fría a través del evaporador y agua caliente a través de un recuperador de calor, tal cual se muestra en el detalle esquemático de la figura 25.

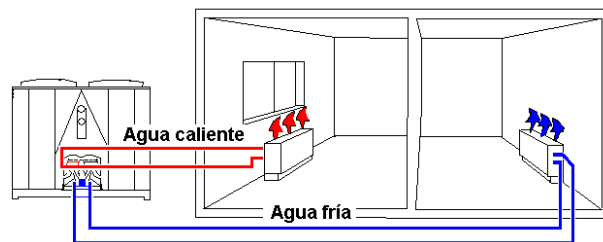


Figura 25. Esquema de unidad enfriadora de agua operando como bomba de calor

Utilización de los calores disipados

Se puede aprovechar el calor disipado por los distintos procesos, como ser en la generación de energía eléctrica, por el calor de los humos de la combustión, el vapor de turbinas o motores, mediante *enfriadoras del ciclo de absorción* que requieren una fuente de calor para producir frío, según se detalla en los esquemas de ciclos comparativos de la figura 26.

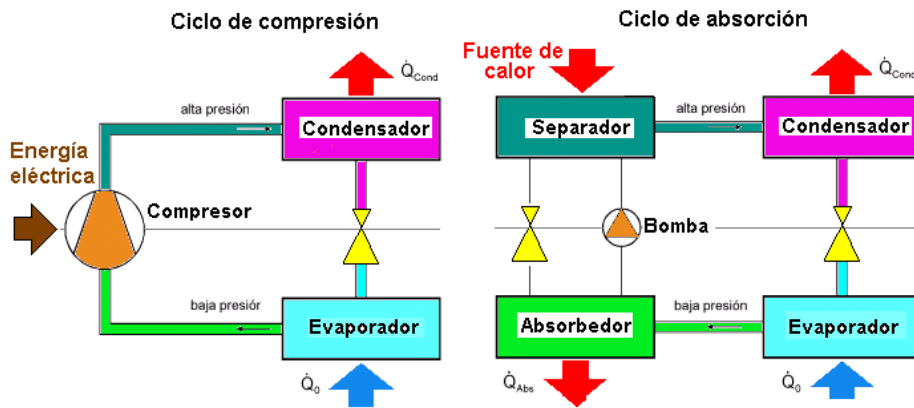


Figura 26. Detalle comparativo de los ciclos frigoríficos de compresión y absorción

Con el calor residual de gases de escape y motor en grupos electrógenos como se muestra en la figura 27 se puede producir enfriar agua con una máquina de absorción o emplear el agua caliente para calefacción.

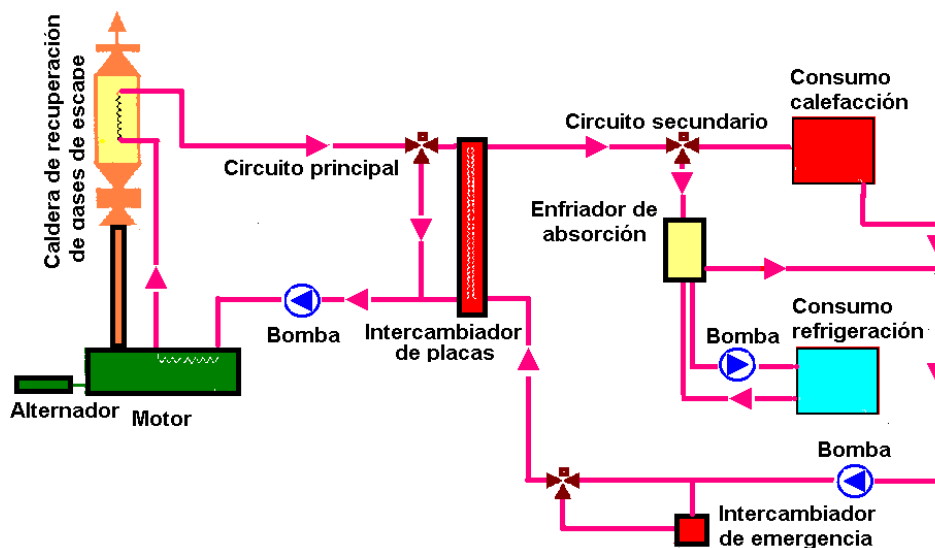


Figura 27. Aprovechamiento de los calores residuales de un grupo electrógeno

Una enfriadora de absorción es adecuada para aprovechar el calor captado a través de colectores solares.

Actualmente se han desarrollado las *calderas de condensación* que aprovechan el calor latente de los humos de la combustión como efecto útil, eliminándolos a más baja temperatura que su punto de rocío, como se observa en el esquema de la figura 28, aumentando de esa manera el rendimiento hasta alrededor de un 110% por sobre el poder calorífico inferior del combustible utilizado.

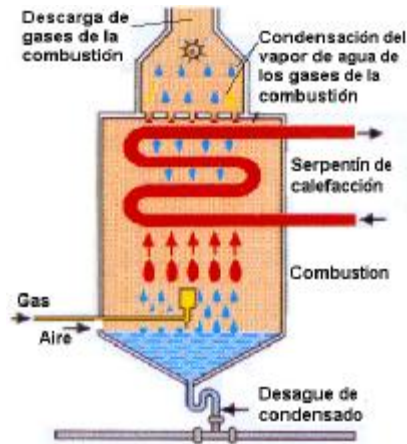


Figura 28. Detalle esquemático de caldera de condensación

Almacenamiento térmico

El propósito de la acumulación térmica consiste básicamente en generar esa cantidad de calor en un horario determinado para utilizarla en otro, lo que origina las siguientes ventajas:

Térmicas

- Diseño de equipamiento más pequeño
- Evitar reciclajes de los equipamientos
- Mayor seguridad de funcionamiento

Eléctricas

- Recortes de pico de consumo eléctrico
- Aprovechamiento de tarifas eléctricas nocturnas

En el *aspecto térmico* con el almacenamiento se puede recortar los picos de demanda de cargas térmicas que se producen durante el día, *permitiendo el diseño de equipos*

de climatización más pequeños, pero funcionando más horas durante el día. Esta característica permite además de ahorrar en el costo del equipamiento, aumentar el rendimiento de la planta frigorífica porque trabajan a capacidades uniformes al máximo rendimiento, salvando las cargas parciales pequeñas, sin reciclajes y por otra parte, es un método ideal para incrementar la capacidad de un sistema existente de aire acondicionado.

Además, se origina una mayor fiabilidad en la generación ya que la energía proviene de dos fuentes, constituidas por un lado, por un sistema dinámico de las plantas enfriadoras y por otro un sistema estático de acumulación. En casos de corte de suministro eléctrico, se cuenta con cierto tiempo de seguridad de mantenimiento de la temperatura ambiente debido a la carga térmica almacenada y se pueden contemplar paradas de la instalación para realizar mantenimientos de emergencia.

De esa manera, los sistemas de almacenamiento permiten la eliminación de un grupo electrógeno fijo para los fines de seguridad del servicio de aire acondicionado, estableciendo un tiempo de funcionamiento en caso de corte eléctrico.

En cuanto al *aspecto eléctrico*, debe tenerse en cuenta que cuando el consumo supera la potencia convenida por un período mayor a 15 minutos, las empresas de energía facturan en base a ese valor seis meses según se muestra en el gráfico de la figura 29.



Figura 29. Penalizaciones por superar la potencia eléctrica máxima contratada

Al contar con el almacenaje de la energía térmica durante la máxima demanda eléctrica, cuando se llega al pico de energía eléctrica contratada, se desconecta el equipamiento de aire acondicionado. De esa manera, se evita el reajuste de tarifas de las compañías eléctricas con el consiguiente ahorro en los costos energéticos.

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que las Compañías proveedoras de electricidad fomentan el uso de la energía eléctrica en horas nocturnas, a veces con tarifas diferenciales, que es justamente cuando se efectúa el almacenamiento térmico. Los sistemas de *acumulación para refrigeración* generalmente empleados pueden clasificarse en:

- Sistemas de calor sensible: *agua fría*
- Sistemas de calor latente: *agua-hielo*

El sistema de *calor sensible* es el más simple, consistiendo en el almacenamiento de agua en un tanque de acumulación, como se muestra en la figura 30, la que se enfría fuera de las horas de utilización a la temperatura más baja posible, mediante el empleo de máquinas enfriadoras de líquido destinadas al acondicionamiento del edificio. El agua tiene un calor específico igual a 1 kcal/kg°C y almacena solo una determinada cantidad de calor sensible en función de la masa de agua y la variación de la temperatura.

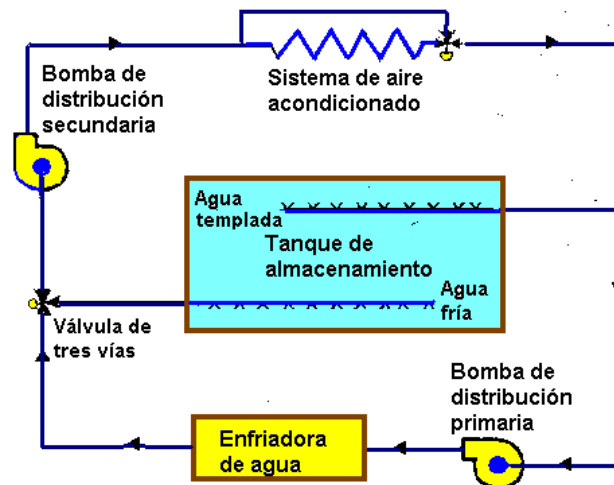


Figura 30. Detalle esquemático de un sistema de acumulación con agua fría

Con la unidad enfriadora funcionando, se envía la suficiente agua fría para satisfacer la carga requerida de refrigeración y el exceso se bombea al tanque de almacenamiento. Cuando la enfriadora no tiene suficiente capacidad para satisfacer los requerimientos de refrigeración, se extrae agua fría adicional desde el tanque.

Cabe consignar que en la mayoría de las veces es indispensable almacenar cierta cantidad de agua en un sistema de agua fría, porque en los momentos de mínima

demanda de cargas térmicas es necesario cierto volumen de agua mínimo en circulación, para evitar el continuo arranque y parada de las mismas o reciclaje, de los equipamientos dado que si superan el valor de 8 veces por hora se origina el deterioro mecánico y una merma en el rendimiento energético. Por ello, se necesita un volumen mínimo de agua en las cañerías que normalmente establecen los fabricantes y si ella no es suficiente, se debe colocar un tanque de agua como volante térmico para evitar estos reciclajes.

Las desventajas del almacenamiento térmico con tanque de agua son los límites en la capacidad por el acotado rango de temperatura del agua, lo que requieren grandes volúmenes y las pérdidas o ganancias de calor en el sistema por transmisión.

El sistema de calor latente, está asociado con un cambio de estado físico o también denominado cambio de fase, utilizando generalmente hielo.

La acumulación se realiza generalmente en grandes instalaciones con hielo, basado en el calor latente para cambiar de estado físico a agua, aprovechando las ventajas del alto calor de fusión del hielo (80kcal/kg) a la temperatura de 0°C para el cambio de fase, con un volumen mucho menor que el almacenamiento con agua.

Los sistemas más utilizados de acumulación de hielo con ligeras variantes son los sistemas de *serpentin* que utiliza agua con glicol circulando por un haz de tubos, uniformemente repartidos, montados en espiral que enfría y congela el agua contenida en un depósito de acumulación a presión atmosférica normal, según se observa en el esquema de la figura 31.

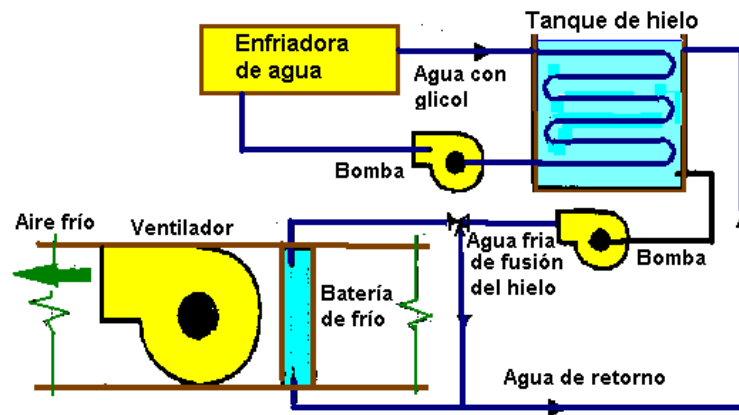


Figura 31. Detalle esquemático de sistema de almacenamiento de hielo con serpentin

Durante la noche, se hace circular el agua-glicol a temperaturas menores de 0°C por lo que el *agua del tanque que rodea los tubos se congela*, almacenando hielo durante la noche. Durante el día el hielo que rodea los tubos se funde, liberando la energía frigorífica almacenada.

Otro sistema es el de *cápsulas* de hielo, que consiste en un tanque de almacenamiento compuesto por una solución de agua con glicol en la que se encuentran inmersas una cierta cantidad de cápsulas esféricas selladas de plástico flexible de 103 mm de diámetro, que contienen en su interior una solución acuosa de punto de congelación 0°C, que constituyen la acumulación de hielo, como se detalla en la figura 31. El agua con glicol circula alternativamente por el tanque a una temperatura por debajo o por encima del punto de congelación.

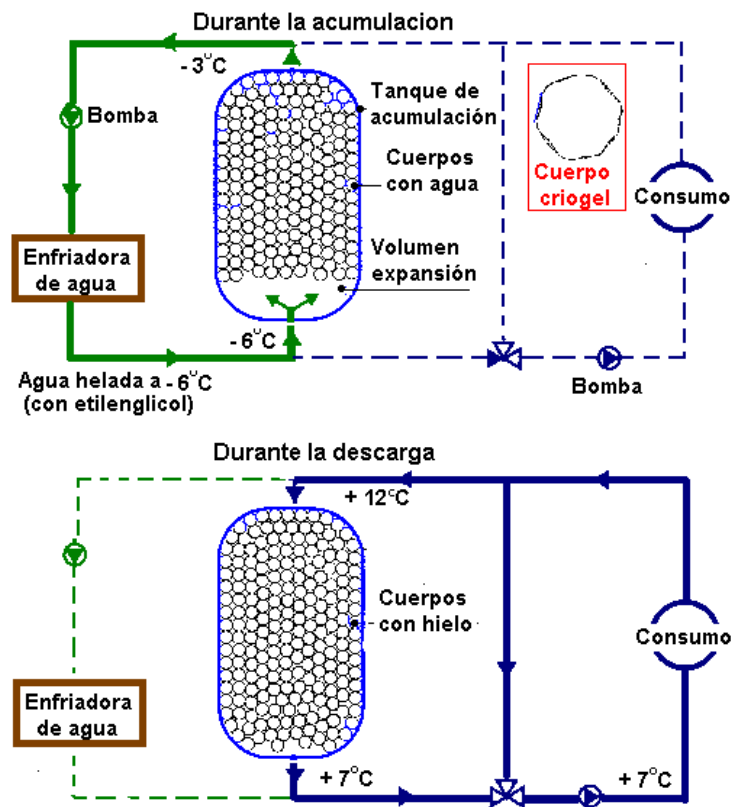


Figura 32 Esquema simplificado de funcionamiento de acumulación de cápsulas de hielo

De esa manera, mientras el agua con glicol está por debajo del punto de congelación, el agente de almacenamiento contenido en las cápsulas se congela. Cuando está por

encima, el hielo dentro de los cuerpos de relleno se funde, liberando energía a la solución que alimenta el circuito de utilización.

Las paredes de las cápsulas deben ser flexibles para acomodarse al cambio de volumen que ocurre durante el congelamiento. Por ello, en estado líquido tienen una forma esférica con hoyuelos preformados curvados hacia adentro, que absorben la expansión durante la congelación, cambiando su curvatura hacia afuera y convirtiéndose en esferas

Una desventaja de los sistemas de acumulación con hielo es la pérdida de eficiencia de la máquina enfriadora tiene que evaporar a temperatura próxima a los -3°C por lo que el rendimiento frigorífico disminuye alrededor del 30% en relación con la producción de agua normal a 7°C .

INCREMENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Desdoblamiento de equipos

El aspecto primordial del diseño, es conseguir que las capacidades frigoríficas suministradas por los equipamientos de la instalación, sean idénticas a las necesidades instantáneas de los locales a acondicionar, lo que lleva en muchos casos a la necesidad de considerar su *desdoblamiento*, para satisfacer las pequeñas cargas parciales.

Por ello deben fraccionarse la capacidad de los equipamientos a fin de adaptar la producción de aire acondicionado a la demanda de calor del sistema en la magnitud y momento que se produce, con objeto de conseguir en cada instante el régimen de potencia más cercano al de máximo rendimiento.

Debe tenerse en cuenta que las *maquinas rinden más cuando están funcionando al máximo de su capacidad* y en este caso, operaría a cargas parciales prácticamente una sola, mientras que la otra permanecería expectante para acoplarse en caso de aumentar las cargas. Además, se dispone de mayor seguridad en el servicio en caso de fallas y se aumenta la vida útil de la instalación.

Proyectos de conductos y plantas térmicas

Las instalaciones de aire acondicionado se dividen en dos partes:

- Unidad de tratamiento del aire y conductos de distribución
- Planta frigorífica o térmica

Estas partes pueden estar unificadas como es el caso de un equipo compacto autocontenido.

En los proyectos del siglo pasado en los grandes edificios se centralizaba la instalación completa en una gran sala de máquinas en el subsuelo de un edificio, y allí se efectuaba en conjunto la preparación de los fluidos energéticos y el tratamiento y distribución del aire. De esa manera se facilitaba el control operacional y el mantenimiento de las instalaciones, que estaba basada en la llamada *tecnología del relay* y la percepción visual y sensorial in situ de los equipamientos, elementos e instrumentos de control por parte del operario.

Ello originaba que al estar la sala de máquinas alejada de los espacios acondicionados, requerían largos tendidos de conductos para transportar el aire que originan un *costo energético mucho más grande que si se transporta por líneas de agua o por refrigerantes*, además de las grandes dimensiones que ocupaban áreas útiles y originaban problemas constructivos.

Por los motivos expuestos, el aire no debe utilizarse para *el transporte térmico* mediante largos tendidos de conductos. Como norma básica de diseño, los conductos deben destinarse a la distribución del aire en los locales acondicionados con rejillas o difusores, *que es la forma más lógica y adecuada para lograr un uniforme barrido del aire*.

De lo expuesto, surge que es *conveniente descentralizar las unidades de tratamiento de aire y ubicarlas cercanas o eventualmente en los mismos los locales a acondicionar*, para que desde allí, se efectúe la distribución del aire mediante conductos, como se indica en la figura 33. Ello ha sido posible mediante el desarrollo de la tecnología electrónica que permite *distribuir las unidades de tratamiento de aire en el edificio*, y vincularlas mediante dispositivos supervisados, desde una *sala de control centralizada*.

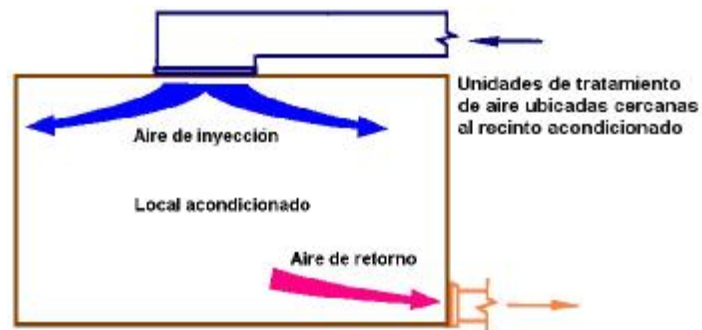


Figura 33. Distribución de conductos desde unidad de tratamiento de aire cercanas

No ocurre lo mismo con la planta frigorífica y de calefacción, que es *conveniente que estén centralizadas*, desde el punto de vista de la operación, mantenimiento y seguridad y porque además, *se logra reducir su capacidad aprovechando las cargas simultáneas* que se producen en todo el edificio.

En resumen, el *proyecto ideal de una instalación de aire acondicionado* en un edificio de cierta envergadura, apoyado con la tecnología de control y supervisión digital, debe consistir en:

- Planta frigorífica o térmica centralizada.
- Unidades de tratamiento de aire, distribuidas en el edificio.

Este concepto de diseño es el que priva en los sistemas todo agua y todo refrigerante multisplit.

El uso de sistemas unitarios con equipos compactos autocontenidos de expansión directa en grandes edificios, si bien permite distribuir el tratamiento del aire, *también descentraliza la planta frigorífica*, con gran cantidad de circuitos de refrigeración a mantener y por otra parte, la capacidad frigorífica total a instalar es mayor, porque cada uno de ellos, debe estar diseñado para satisfacer la carga pico de los locales que sirven, sin considerar la simultaneidad de las cargas en el edificio, como ocurre con una planta de agua fría o unidades condensadoras centralizadas.

Necesidad de la zonificación

La instalación de aire acondicionado debe servir a un conjunto de locales de un edificio, que difieren entre sí en su funcionamiento a cargas parciales, ya sea por su orientación, cargas internas, efecto solar o distintas condiciones de funcionamiento y ello constituye un aspecto importante a tener en cuenta en el diseño con miras al ahorro energético.

El criterio de *zonificación* consiste en agrupar el acondicionamiento de todos aquellos ambientes del edificio, cuyas cargas térmicas varían en forma similar. De esa manera, se puede definir como una zona, a aquellos locales que están controlados por un mismo termostato.

Existen varias formas de zonificar, pero no cabe duda que la mejor de todas, es que cada zona *tenga su propio equipo de tratamiento de aire, con su termostato de control*.

Los principales factores determinantes de la zonificación son:

- Orientación.
- Horarios de uso.
- Disipaciones internas y condiciones psicrométricas.

Distribución de fluidos a volumen variable

Otro desarrollo importantísimo que permitió el avance de la electrónica es la posibilidad muy simple y económica de regular la velocidad de giro o revoluciones por minuto de un motor, mediante un sistema denominado *inverter*, que es un dispositivo electrónico que modula la tensión, amperaje y frecuencia de la red de suministro y que se puede aplicar a compresores, bombas de agua o ventiladores de los sistemas de acondicionamiento.

Al emplearlo en un compresor permite regular la capacidad a cargas parciales, variando la velocidad en lugar de arrancar y parar el mismo. El control de temperatura es entonces mucho más preciso, con una puesta en régimen más corta porque el compresor puede arrancar a una mayor velocidad, tal cual como se observa en el gráfico de la figura 34.

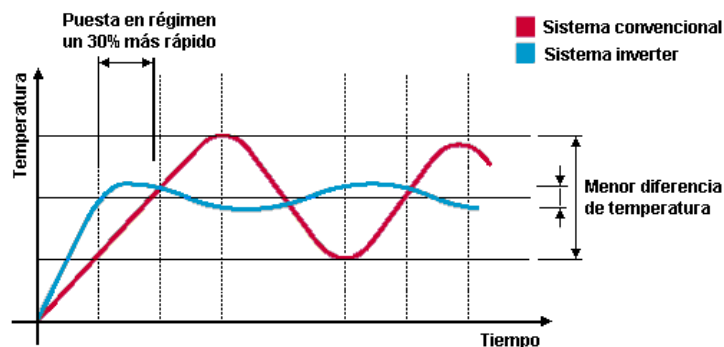


Figura 34. Gráfico comparativo de un sistema inverter con un convencional

Por otra parte, posibilita la regulación de los caudales transportados mediante el ajuste de la velocidad de giro de los motores, lo que representa un considerable ahorro energético porque *la potencia consumida es una función del cubo de la relación de velocidades*.

En el ejemplo que se detalla en la figura 35, se desea reducir al 80% el caudal de agua que circula por el sistema de acondicionamiento por agua fría. Si para ello se cuenta con una bomba de velocidad constante, se puede usar una válvula pero la potencia absorbida por el motor sólo baja un 2%.

Sin embargo si se utiliza un sistema inverter que disminuye la velocidad de rotación, la potencia tomada por el motor se reduce al 51%

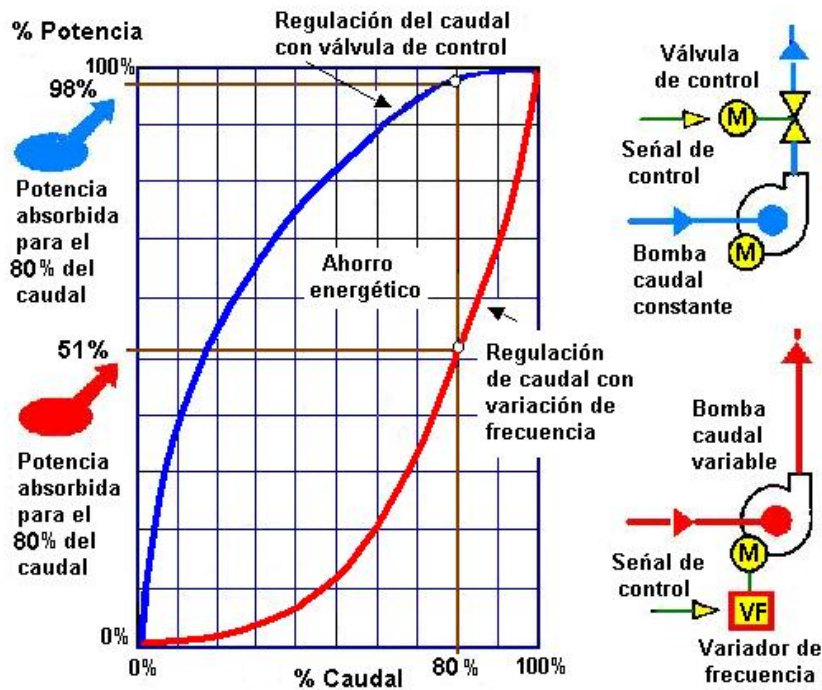


Figura 35. Gráfico comparativo de reducción de potencia con sistemas de volumen variable.

Eficiencia frigorífica

Un ciclo frigorífico es un motor térmico que funciona al revés de modo que su eficiencia energética está dado por la fórmula de Carnot del ciclo ideal, pero invertida, tal cual se indica en la figura 36, en donde las temperaturas se miden en °K. Los rendimientos de los motores térmicos son siempre inferiores a la unidad, mientras que para el ciclo frigorífico es un número entero que representa el equivalente térmico del trabajo mecánico suministrado por el compresor.

En la realidad como el ciclo de Carnot es ideal los valores en la práctica difieren bastante de los calculados con esa fórmula, porque no tienen en cuenta entre otros aspectos, el sobrecalentamiento y subenfriamiento del vapor, así como la transferencia de calor de compresión.

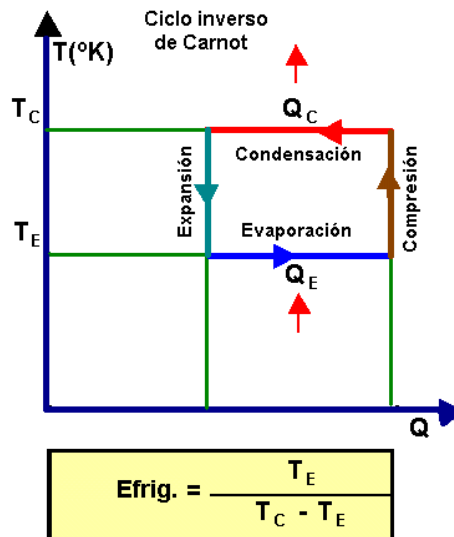


Figura 36. Eficiencia energética de un ciclo frigorífico

Sin embargo la fórmula es muy útil porque permite visualizar que el valor de la eficiencia frigorífica se incrementa:

- Aumentando la temperatura de evaporación
- Disminuyendo la temperatura de condensación
- Disminuyendo la diferencia de temperatura de condensación y evaporación

Por ejemplo, los equipos de enfriados por agua con torre de enfriamiento tienen mayor rendimiento que los enfriados por aire exterior, porque su temperatura de condensación es menor y por otra parte, las unidades condensadoras o enfriadoras de agua rinden más, cuanto mayor es la temperatura de evaporación o del agua de distribución respectivamente.

Eficiencia energética

Si bien hay numerosos índices de aplicación para medir la eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado, se utiliza generalmente para equipos de más de 3 toneladas de refrigeración el COP (Coeficiente de Performance), que es la relación entre la potencia frigorífica entregada, con respecto a la potencia eléctrica consumida

en las condiciones de funcionamiento mas desfavorables que deben suministrar los fabricantes

$$COP = \frac{Kw_{frig}}{KW \text{ el\u00e9ct.}}$$

Los valores de COP var\u00edan con las normas, pero no deber\u00edan ser menores que 3 para que el equipo sea eficiente.

Los americanos usan el coeficiente EER (eficiency energy rating) que vale:

$$EER = \frac{BTU_h}{Kw \text{ el\u00e9ct}}$$

Los valores de EER no deber\u00edan ser menores de 10

Regulaci\u00f3n del sistema

Es fundamental disponer de los medios de ajustes necesarios para adaptar los par\u00e1metros de funcionamiento de los equipos de modo de lograr su optimizaci\u00f3n en cuanto a sus condiciones de funcionamiento. En la figura 37 se detalla un sistema t\u00edpico de control para un sistema de acondicionamiento, provisto de una unidad condensadora que alimenta a una unidad de tratamiento de aire que distribuye el mismo a volumen variable, donde se observan los distintos elementos constitutivos.

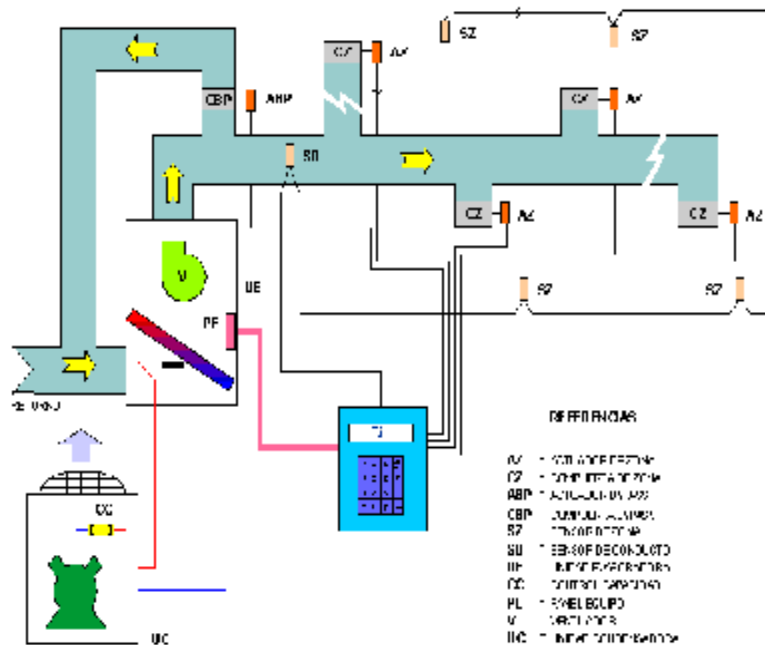


Figura 37. Sistema t\u00edpico de control de acondicionamiento de aire a volumen variable

En grandes edificios debe adoptarse un *sistema de gestión integral* que posibilite la operación y regulación, con un programa orientado hacia la reducción del consumo energético, así como una disminución de los costos de mantenimiento, siendo dichos datos útiles para definir las reales necesidades del servicio, correcciones y posibles mejoras al funcionamiento., que puede ser operado desde un puesto central en una sala de control en el edificio como se muestra en la figura 38.



Figura 38. Control de gestión centralizado de un edificio inteligente

De esa manera, puede disponerse de un control directo de cada uno de los parámetros de la instalación, proporcionando en tiempo real la información de lo que está pasando en el edificio, para tomar decisiones de ahorro energético, tales como selección de las condiciones interiores de confort, fijación o adecuación de los set-point.

En los casos de edificios inteligentes se agrega el control de la iluminación, bombas de agua, etc., lo que requiere la integración al sistema de los equipamientos con sus protocolos, como se muestra en el esquema de la figura 39.

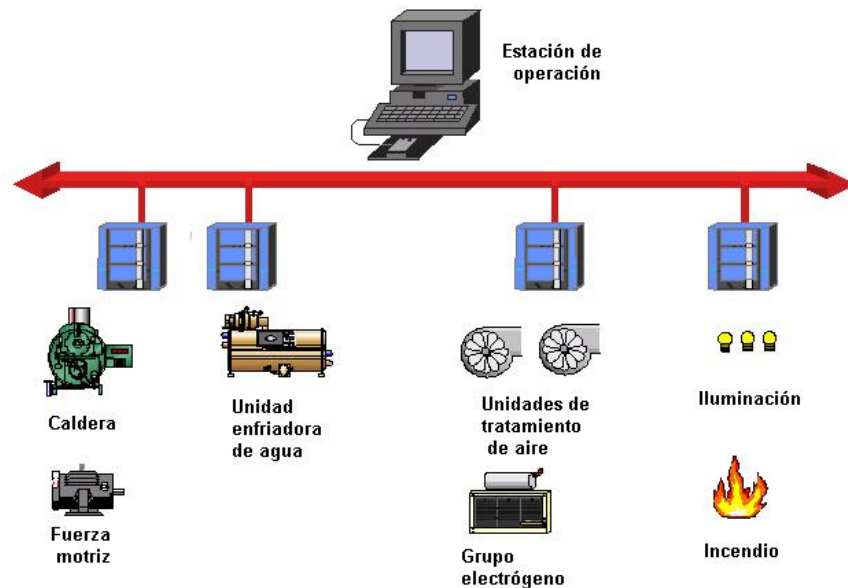


Figura 39. Integración del aire acondicionado en el sistema inteligente del edificio

ESTUDIO ESPECÍFICOS E INVERSIONES

Edificios existentes

Para esbozar los lineamientos básicos a adoptar en el proyecto, debe conocerse el problema en su real dimensión, como ser la cantidad y características de los consumos y los ahorros que se pueden obtener, por lo que se hace necesario medir con datos objetivos los procesos energéticos que se producen, para determinar donde es posible y conveniente la aplicación de nuevas tecnologías.

En estos casos el proyecto de mejoras energéticas consiste en actuar sobre cada problema concreto, por ejemplo, controlar los niveles de trabajo de los equipos o set-point de operación, verificar los flujos de aire y agua, analizar la posición de los sensores ambientales y mejorar las operaciones de manutención, como la limpieza de los filtros, control del estado de funcionamiento de los equipos, circulación del aire o agua, etc.

Por otra parte, es fundamental analizar las mejoras en los edificios, como aislaciones, protecciones de ventanas, reducción de consumos de iluminación, etc.

Ampliaciones de edificios

Ya en los nuevos proyectos debe planificarse convenientemente los espacios y facilidad de adaptación de las instalaciones a las ampliaciones futuras previstas, porque agregar nuevos equipos a las ya existentes para satisfacer necesidades de ampliación no previstas, lleva muchas veces a resultados finales de equipamientos de distinta técnica, con bajos índices de eficiencia y altos costos de espacio, gestión y mantenimiento.

La modificación de las instalaciones de aire acondicionado por el aumento de los sistemas instalados, cambios de tecnologías, etc. requieren una estrategia de crecimiento.

Un punto crítico en la fase del diseño lo constituye muchas veces la falta de datos ciertos y significativos sobre las características de las necesidades de acondicionamiento y su programa de desarrollo a corto, medio y largo plazo, por lo que se debe tratar contar con la información completa más completa y actualizada posible, que permitan una adecuada planificación del proyecto orientado al ahorro energético.

Retorno de las mayores inversiones

La instalación de equipamientos más eficientes, así como el proyecto de edificios que disipen menos energía o proveer instalaciones para su recuperación o almacenamiento, obliga evidentemente a mayores inversiones.

En forma simplificada y sin considerar otros factores económicos, se observa en el gráfico de la figura 40, que si bien es necesario efectuar una mayor inversión inicial para lograr una mejora energética, luego de un tiempo se recupera con el ahorro de energía el monto invertido, representado en el punto de intersección de las líneas de diferencias de inversión y ahorro. A partir de ese punto del gráfico se produce un ahorro permanente en el funcionamiento de la instalación.

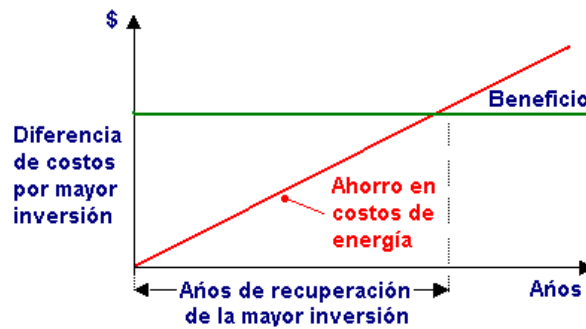


Figura 40. Gráfico simplificado de estimación de retorno de inversiones

Desde el punto de vista económico, estas mayores inversiones se justifican cuando se pueden recuperar con el ahorro que pueda conseguirse en un tiempo de funcionamiento que se considere aceptable, que generalmente es hasta 3 años.