

CONCEPTOS BASICOS PARA EL AHORRO ENERGETICO EN INSTALACIONES DE AIRE ACONDICIONADO

La necesidad de hacer frente al déficit energético originado por el incesante aumento del consumo de energía debe ser ampliamente difundido porque es indispensable crear una conciencia colectiva sobre su uso racional. Desde este punto de vista, este artículo pretende fijar los criterios básicos de eficiencia energética en el diseño de los sistemas de aire acondicionado que generalmente constituyen el principal consumidor de energía en los edificios.

Generalidades

Un sistema de aire acondicionado 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, mediante temperaturas, velocidad de distribución de fluidos, tiempos de utilización y sistemas de control óptimos. Por otra parte, la aplicación de un adecuado aislamiento térmico y la mejora en la hermeticidad de los edificios es fundamental, dado que ello implica equipos más pequeños con menor consumo energético durante toda la vida útil.

Los proyectos deben realizarse en función de la característica de la instalación y estructurados de manera coherente, debiéndose efectuar un balance energético con un análisis económico para definir la solución más conveniente. 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.

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. Debe tenerse en cuenta que instalar equipamientos más eficientes, adoptar aislaciones más eficaces, proyectar edificios que disipen menos energía o proveer instalaciones que recuperen energía, obliga a mayores inversiones económicas que deben retornar con el ahorro que pueda conseguirse, sobre la base del tiempo que se considere necesario establecer como razonable.

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 el caso de *edificios existentes* 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, optimizar los consumos

mejorando las operaciones de mantenimiento, como la limpieza de los filtros, control del estado de funcionamiento de los equipos, circulación del aire o agua, etc. En muchos casos se trata de problemas por una mala ejecución, como la poca circulación del aire o subdimensionamiento de los equipos, que requieren para su solución, la ejecución de trabajos y de nuevas inversiones.

En las *ampliaciones de los edificios*, la modificación de las instalaciones de aire acondicionado por aumento de los sistemas instalados, cambios de tecnologías, etc. requieren una estrategia de crecimiento. El agregar nuevas máquinas a las ya existentes para satisfacer necesidades de ampliación no previstas, lleva muchas veces a resultados finales de instalaciones de distinta técnica, con bajos índices de eficiencia, altos costos de espacio, gestión y mantenimiento, por lo que debe analizarse siempre con mucho detenimiento la posibilidad de adicionar los equipamientos de la manera más racional posible.

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 debido a las continuas innovaciones y modificaciones tecnológicas, por lo que se debe contar con una información completa y lo mas actualizada posible, con objeto de prever los futuros cambios en los procesos, que permitan una adecuada planificación del proyecto orientado al ahorro energético.

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
- Utilización de energías gratuitas
- Incremento de la eficiencia energética
- Correcta regulación del sistema

DISMINUCIÓN DE LAS NECESIDADES DE ENERGÍA

La forma más clara de ahorrar energía es la de buscar todas aquellas soluciones que limiten en forma temporal o cualitativamente los consumos energéticos del sistema. Es indispensable como primer medida en la fase inicial del proyecto, la adopción de soluciones arquitectónicas que tiendan a la reducción del consumo energético mediante *un correcto uso del aislamiento térmico*, teniendo en cuenta la radiación solar y una adecuada especificación de aventanamientos para reducir ganancias de calor e infiltraciones, ya que ello implica equipos de aire acondicionado y calefacción más pequeños, con un consumo menor.

Los vidrios de las ventanas actúan como una *trampa de calor* dado que dejan pasar la luz solar y calientan los elementos del ambiente, pero la radiación calórica invisible que estos emiten a su vez no pasa a través del vidrio, por lo cual el calor almacenado no puede escapar denominándose *efecto*

invernadero, de modo que las reflexiones sucesivas de la radiación calórica en las paredes, pisos y mobiliario de un recinto hacen que éste actúe prácticamente como una caja negra que absorbe toda la radiación incidente. Si bien en invierno este efecto invernadero es sumamente beneficioso, no lo es en verano, debiéndose dotar de una buena protección solar a las ventanas.

Además, es muy importante analizar la automatización de los circuitos de alumbrado en función de los horarios de uso y de acuerdo a los requerimientos. La utilización de *lámparas de alto rendimiento* constituye un elemento a considerar, así como también reguladores que permitan reducir automáticamente el nivel de iluminación y el eventual apagado, en función de las reales necesidades.

Entre las muchas formas de lograr ahorro energético en instalaciones de aire acondicionado se puede mencionar como la más simple *su propio aislamiento térmico* y la disminución o aumento de la temperatura de diseño o set-point de los locales según sea invierno o verano respectivamente, que puede suponer un ahorro anual, siempre que ello no implique una reducción substancial de las condiciones de confort.

UTILIZACIÓN DE ENERGÍAS GRATUITAS

El uso de energías gratuitas constituye un elemento importante para el ahorro energético. Se pueden mencionar como las más interesantes las siguientes:

- Aprovechamiento del aire exterior (free-cooling)
- Enfriamiento evaporativo

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 entalpía cuando las condiciones exteriores son favorables como en verano, para disminuir el uso de los equipos de aire acondicionado.

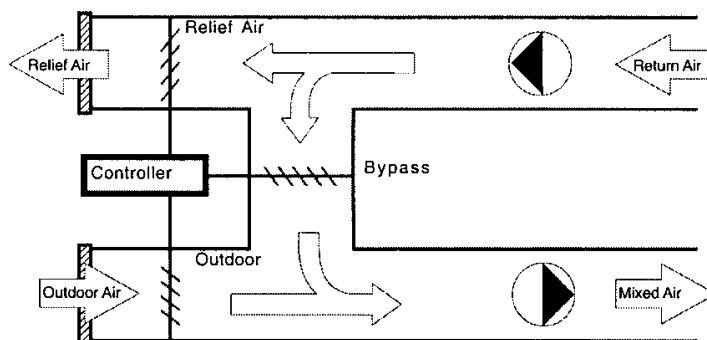


Fig 1. Esquema de funcionamiento de free-cooling

En el esquema de la *figura 1* se detalla el procedimiento más usual para llevar a cabo el free-cooling, 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 la proporción de aire eliminado o recirculado se realiza mediante un juego de persianas en función del grado de apertura o cierre y una tercera persiana en la toma de aire exterior opera sincronizadamente con el aire eliminado al exterior y de esa manera, al aumentar el caudal de aire exterior a medida que la persiana se abre, se va cerrando la del aire recirculado y se abre la del aire expulsado.

Condiciones de operación

Se pueden plantear los siguientes casos:

- 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.

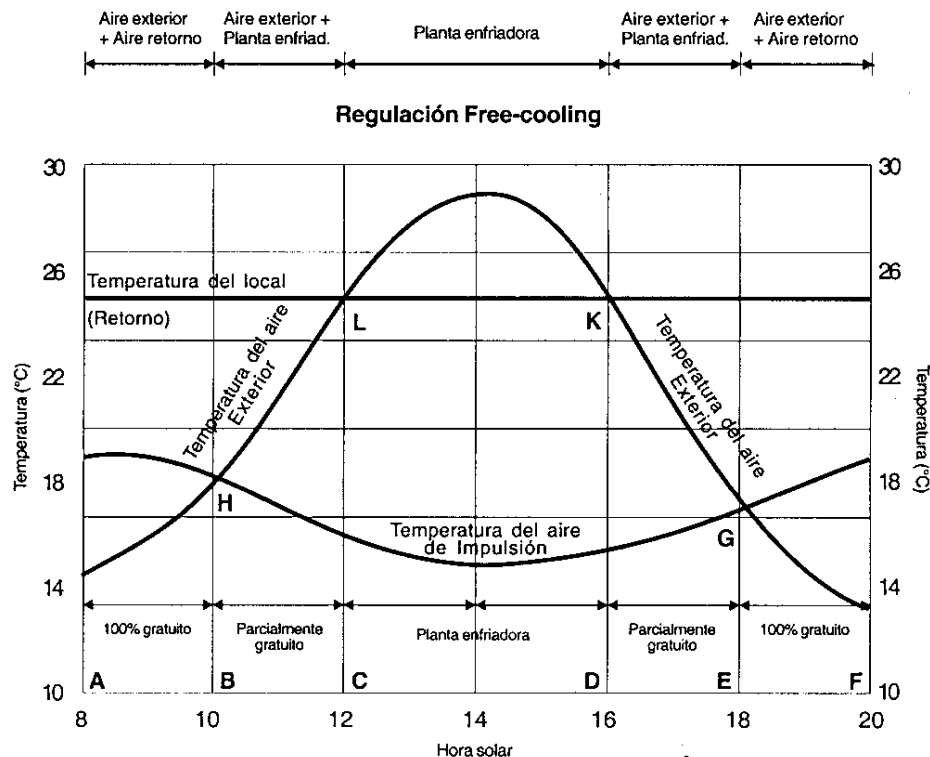


Fig 2. Gráfico de regulación de un free-cooling

En el gráfico de la *figura 2* 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, estableciéndose el pico de carga del local a las 14 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.

En el intervalo BC el aire exterior es mayor que la temperatura de impulsión pero inferior a la temperatura de retorno que es el 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 constituye el límite del enfriamiento gratuito*.

Por último, durante el período CD, donde la temperatura del aire exterior es superior a la temperatura de retorno de los locales, la instalación funciona en forma convencional, para satisfacer las necesidades 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*.

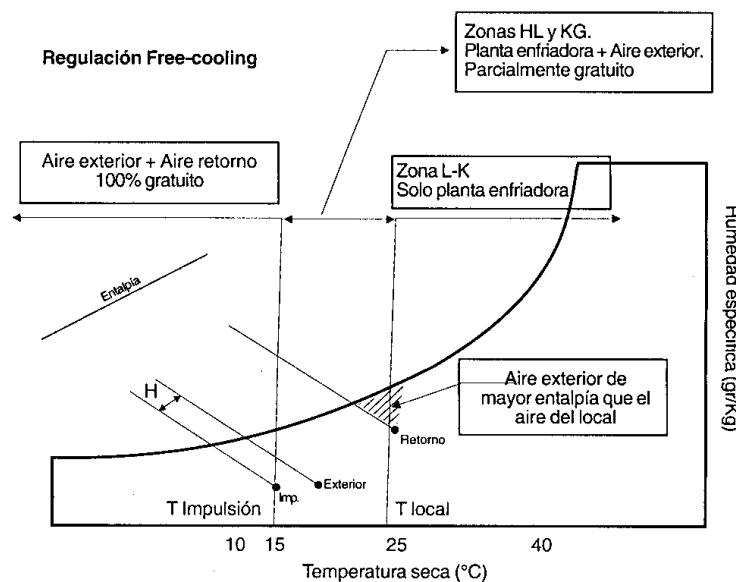


Fig 3. Esquema en ábaco psicrométrico de regulación del free-cooling

En la *figura 3* se representa el proceso anteriormente descrito en el ábaco psicrométrico. Si el control del free-cooling es por temperatura, existe una zona comprendida entre la temperatura de bulbo seco del local, la temperatura de bulbo húmedo y la curva de saturación rayada en el gráfico, que demuestra que si bien la temperatura seca del aire exterior es menor que la de retorno o del local y por lo tanto puede absorber calor sensible del mismo, en al misma *la entalpía del aire exterior es mayor que la del aire del local*, por lo que es contraproducente el ingreso del mismo en el sistema.

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.

Alternativas de instalación

Es posible muchas variantes de instalación y en la *figura 4* se muestra una de las alternativas posibles. Se utiliza un ventilador de impulsión de aire exterior con persiana de descarga al pleno del equipo, eliminándose el aire ingresado del local por sobrepresión e mediante persianas ubicadas en el mismo.

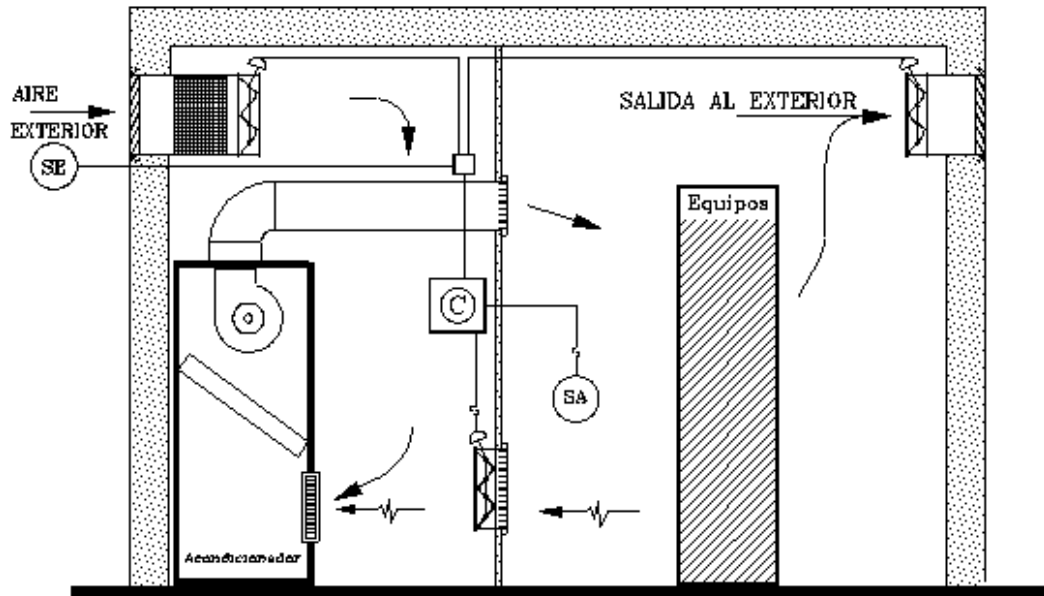


Fig 4. Esquema de sistema free-cooling de aire exterior

Los sistemas deben ser automáticos de modo de poder regular la apertura del paso del aire en forma proporcional a las necesidades mediante persianas motorizadas modulantes, comandadas por un controlador con un sensor exterior e interior. Se destaca que en los ejemplos detallados, podría haberse instalado un *ventilador de extracción* en reemplazo de la persiana modulante para salida del aire exterior, con una mejor regulación.

En la *figura 5* se muestra el detalle de un sistema free-cooling instalado en un equipo autocontenido denominado *mochila* porque se lo instala colgado directamente sobre una pared, especialmente en shelter o edificios pequeños destinados a suministros de aire acondicionado para locales de telefonía o sala con dispositivos eléctricos, transformadores, etc. ubicados en sitios remotos, siendo de funcionamiento práctico y sencillo.

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. Se debe utilizar un sensor de filtro sucio para la entrada de aire exterior, que en virtud de la diferencia de presión antes y después del mismo, accione una alarma mediante un dispositivo de control y deshabilite el sistema hasta que se limpie o cambie el filtro y se resetee la alarma.

La aplicación de *free-cooling* mediante el enfriamiento de agua por medio del aire exterior, constituye una variante a considerar en los proyectos de aire acondicionado.

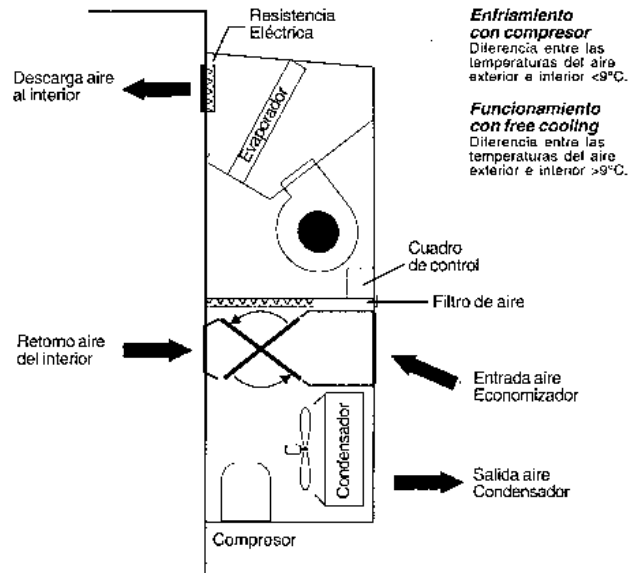


Fig 5. Detalle de sistema free-cooling en equipo autocontenido tipo mochila

Enfriamiento evaporativo

El *enfriamiento evaporativo* es un proceso de transferencia de masa de agua en una corriente de aire por contacto directo, en la que se obtiene el enfriamiento sensible del aire por evaporación del agua. El método es análogo al de un aparato de humectación y al de una torre de enfriamiento y la diferencia es el objetivo final, que es humectar el aire en el humectador y enfriar el agua en la torre, mientras que en este caso es la de *enfriar el aire*.

El contacto entre los dos fluidos aire y agua puede tener lugar sobre una superficie de gran extensión con el propósito de aumentar el contacto íntimo entre ellas. El proceso de transferencia de calor es adiabática, de modo que se mantiene prácticamente constante la entalpía del aire o lo que es casi lo mismo, su temperatura de bulbo húmedo.

Como se observa en la *figura 6*, el agua se evapora en contacto directo con el aire de suministro, produciendo su enfriamiento y aumentando su contenido de humedad en un proceso de cambio adiabático de calor. El aire suministra el calor al agua produciendo su evaporación, de modo que su temperatura de bulbo seco baja y se incrementa la humedad.

De esa manera, el calor intercambiado desde el aire iguala a la cantidad de calor absorbida por la evaporación del agua y el agua se recircula por el

aparato, su temperatura se aproxima a la de bulbo húmedo del aire del proceso, tal como se indica en la *figura 7*.

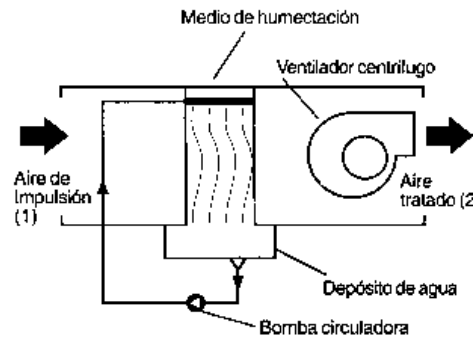


Fig. 6. Detalle esquemático de un sistema evaporativo

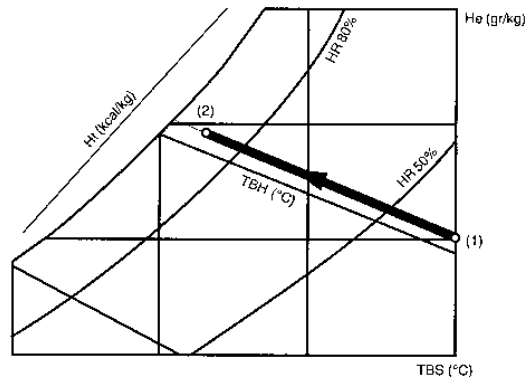


Fig. 7. Detalle de proceso en el ábaco psicrométrico

Básicamente están compuestos por un elemento de humectación, un ventilador centrífugo y en los sistemas de atomización es necesario disponer de una bomba de circulación con sus correspondientes tuberías y toberas y la característica del medio de humectación de los enfriadores evaporativos fibras de madera aglomerada con el necesario tratamiento químico para incrementar la humectación y prevenir el crecimiento de los microorganismos, los que son montados en marcos de metal o plásticos removibles o de *medio rígido* conformados por un enjambre de placas corrugadas hechas normalmente de plástico.

Para realizar el enfriamiento evaporativo de una instalación de aire acondicionado es necesario que se den en el clima exterior dos requisitos:

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

En general para temperaturas exteriores mayores de 35°C y temperaturas de bulbo húmedo menores de 24°C, de modo que son de aplicación en climas exteriores *cálidos y secos*.

Como se había mencionado, los sistemas evaporativos directos aunque pueden relativamente disminuir la temperatura del ambiente algunos grados y ventilar, agregan vapor de agua a los ambientes. Su aplicación entonces puede

ser para locales industriales, criaderos, grandes espacios de circulación, etc., donde el efecto de humedad no constituya un inconveniente.

También existen enfriadores evaporativos indirectos que enfrían por evaporación una superficie de intercambio enfriando el aire en forma sensible manteniendo constante la humedad específica pero con menos eficiencia.

Actualmente se fabrican equipos compactos autocontenidos de enfriamiento directo que van desde las prestaciones individuales para los mismos locales a equipos de mayor tamaño para montarse sobre techo o paredes con conductos, similares a los equipos roof-top de aire acondicionado, cuyo montaje es sumamente sencillo.

INCREMENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Se pueden mencionar las siguientes acciones para lograr ese objetivo:

- Zonificación de los equipamientos para satisfacer sus necesidades particulares.
- Adecuada selección de las temperaturas de evaporación y condensación.
- Empleo de sistemas de distribución de fluidos con motores de velocidad variable.
- Aplicación de equipos de bomba de calor
- Sistemas de cogeneración
- Aprovechamiento del calor de condensación de los equipos de refrigeración o el calor latente de los humos en calderas
- Recuperación del calor del aire de descarga de ventilación
- Métodos de acumulación térmica

Es necesario en el diseño efectuar la zonificación y la parcialización adecuada de la capacidad de los equipamientos a fin de adaptar la generación de aire acondicionado a la demanda de calor del sistema *en la magnitud y momento que se produce*. Debe recordarse que la eficiencia de las máquinas se reducen a cargas parciales.

Las temperaturas de diseño en la evaporación o la condensación son factores muy importantes en la determinación del proyecto desde el punto de vista energético, por lo que debe analizarse con detenimiento la temperatura enfriamiento en la distribución de los fluidos y el uso de los sistemas de condensación por agua contraponiendo los menores consumos de operación con los mayores costos de mantenimiento que los de aire, teniendo en cuenta que el agua potable comienza a ser un recurso cada vez menos económico.

El uso de métodos de regulación *mediante equipos de distribución de fluidos a velocidad variable* representa un ahorro importante en el consumo energético con respecto a los de velocidad constante. Tal es el caso de los sistemas de volumen variable en las instalaciones todo aire, la regulación mediante bombas de velocidad variable en los sistemas todo agua o los sistemas VRV en los todo refrigerante.

Por otra parte, son recomendables por su mayor eficiencia los *sistemas de calefacción por bomba de calor* teniendo en cuenta las características de las zonas de emplazamiento y utilización de los equipamientos complementados

con la refrigeración, en reemplazo de las resistencias eléctricas. La bomba de calor permite además *transferir el calor de una zona a otra del edificio reduciendo el consumo energético*.

Estos temas son muy importantes y puede llegar a ser determinantes para definir el partido de un proyecto global de aire acondicionado y requieren un análisis muy particularizado.

Cogeneración

En los casos comunes, la energía térmica, se genera utilizando los combustibles tradicionales en los diversos tipos de equipos y la energía eléctrica normalmente es distribuida por medio de la red pública. Sin embargo, *existen alternativas para generar energía térmica y eléctrica en forma conjunta con una mayor eficiencia que la obtenida por los sistemas convencionales*.

Se puede observar en el esquema comparativo que se muestra en la *figura 8* la diferencia de un sistema convencional y cogeneración para satisfacer las necesidades de energía eléctrica y calor, por lo que puede definirse la *cogeneración* como la técnica empleada para la producción simultánea de energía, por lo general eléctrica y térmica a partir de una sola fuente de combustible. La idea básica es *recuperar la energía calórica disipada como residuo no útil, para su aplicación en diversos usos, como por ejemplo en actividades industriales que requieren electricidad y calor*.

Si bien las aplicaciones de la cogeneración destinada a calefacción o agua caliente sanitaria se encuentran muy extendidas, debido a que la demanda es estacional no se puede obtener plenamente la potencialidad de cogeneración, puesto que en verano lo que se necesita es agua fría para la climatización. Para ello se emplean *máquinas enfriadoras de absorción* que pueden ser alimentadas con agua caliente, vapor o directamente por los gases de la combustión en el caso de las turbinas de gas o motores alternativos y que proporcionan refrigeración con un consumo mínimo de energía eléctrica.

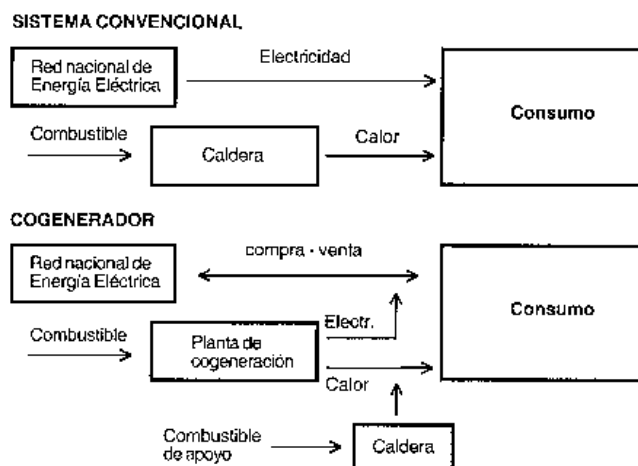


Fig. 8. Suministro de energía eléctrica y térmica en un sistema convencional y de cogeneración

En el esquema de la *figura 9* se detalla la producción de agua caliente aprovechando el calor disipado por el motor del grupo electrógeno, recuperando en primer lugar el calor residual del aceite y del medio de refrigeración en las camisas del motor mediante intercambiadores de placas y finalmente el calor de los gases de escape a 200 a 250°C, a través de recuperadores de calor convenientemente diseñados. Además mediante una enfriadora de agua a absorción se aprovecha el calor para producir agua fría para refrigeración.

El ahorro de energía anual que se consigue instalando un equipo de cogeneración depende de la característica de cada caso, pero en general puede estimarse en alrededor del 20%, lo que permite la amortización del mayor costo de inversión que representa, en pocos años.

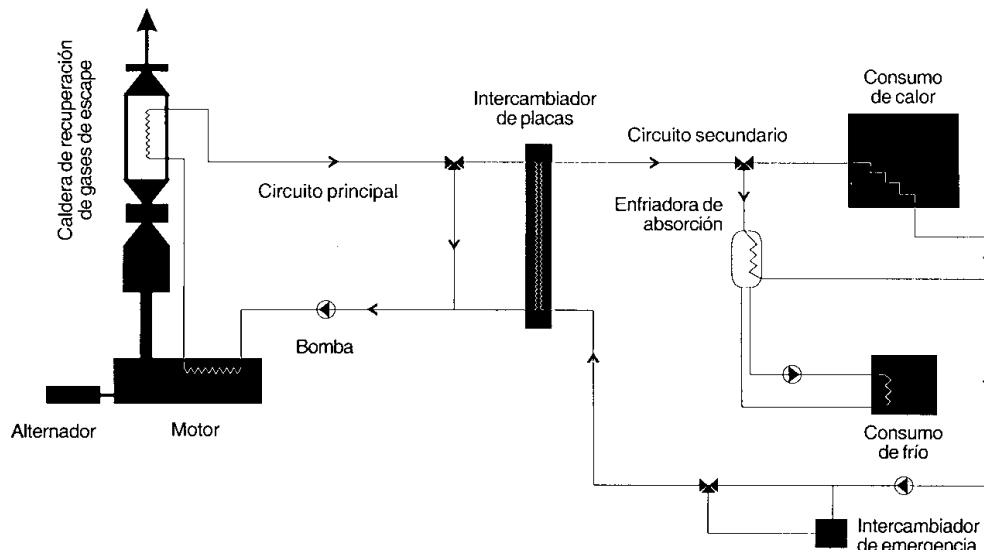


Fig. 9 Detalle esquemático de sistema de cogeneración con grupo electrógeno

La operación se hace más efectiva *cuando las cargas térmicas y eléctricas se hacen coincidentes* cosa que muchas veces no ocurre. Por ello, otra alternativa la constituye el uso *de motores a gas* como combustible, para accionar los compresores de aire acondicionado donde se obtienen altos rendimientos de la energía primaria además del ahorro adicional por el aprovechamiento del calor extraído del agua de refrigeración del motor y de los gases de escape, mejorando el rendimiento de la energía contenida en el combustible.

El diseño y fabricación de un equipo de frío por compresión es independiente de cuál sea la fuente de movimiento y la única diferencia radica en si se utiliza un motor a gas natural o uno eléctrico.

Los motores de combustión interna utilizados son de ignición por chispa eléctrica mediante bujías proceden de motores de cuatro tiempos a nafta adaptados para la utilización del gas natural como carburante. En general, los motores de pequeña media potencia son de aspiración natural y los de mayor potencia son turboalimentados, es decir, utilizan un compresor de aire movido por una pequeña turbina alimentada por los gases de escape.

El control de las cargas parciales se consigue modulando la velocidad del motor y desde el punto de vista de la eficiencia energética, es una ventaja cuando se funciona a carga parcial con respecto a los motores eléctricos de los compresores que generalmente son a velocidad constante.

Otro aspecto a considerar lo constituye el empleo de la *recuperación de calor de condensación de los equipos frigoríficos* que desprenden en gran cantidad en su funcionamiento el que puede ser empleado convenientemente para el abastecimiento de agua caliente, especialmente para oficinas o establecimientos comerciales. Por otra parte, el aprovechamiento del calor del *calor latente de condensación de los productos de la combustión* empleando calderas de condensación de alta eficiencia operando a baja temperatura es una aspecto importante a considerar en los proyectos.

Recuperación de calor del aire de descarga de ventilación

La *recuperación del calor* aprovechando la *capacidad térmica o entalpía del aire interior* contaminado que debe eliminarse al exterior cuando se introduce aire nuevo en el proceso de ventilación con objeto de diluir los elementos polucionantes y mantener la calidad del aire interior en los locales es un factor a tener en cuenta para el ahorro energético. Ese calor puede transferirse al aire nuevo que se incorpora, tanto en verano como en invierno, lo que permite reducir la carga de ventilación.

De esa manera, se recurre entonces al empleo de *recuperadores de calor*, para reducir la carga de ventilación. En general las normas europeas recomiendan su instalación cuando el caudal de aire excede de 180 m³/min. y el diseño del recuperador debe ser de rendimiento superior al 45%, en las condiciones más extremas de diseño.

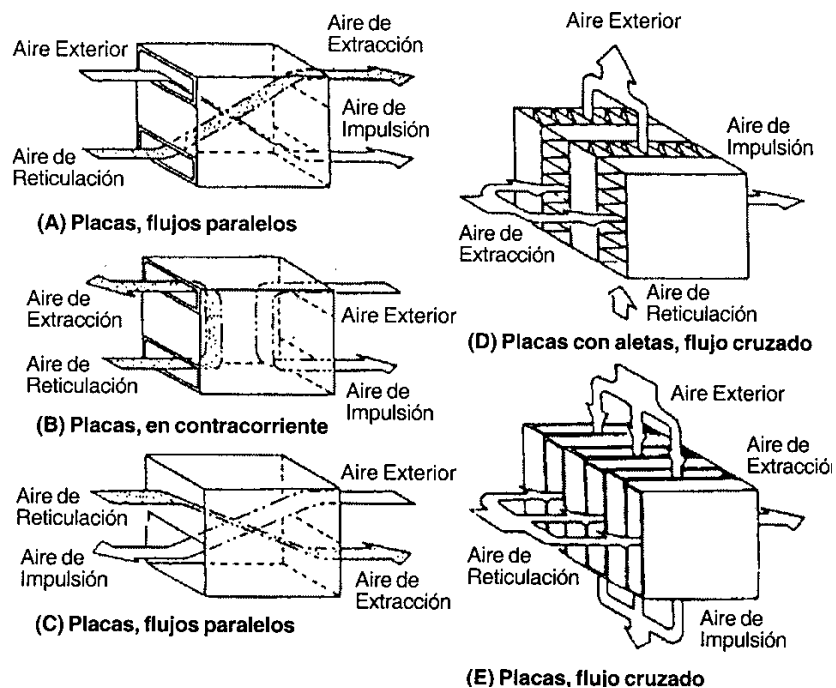


Fig. 10 Detalle de varios tipos de recuperadores de calor de placas

Los recuperadores *aire-aire* cuyas variantes se indican en la *figura 10* se los conoce también como recuperadores de placas o estáticos donde el intercambio de calor se produce a través de un conjunto de placas de metálicas muy próximas y paralelas, al provocarse dos flujos de aire cruzados que no llegan a mezclarse. Si bien requieren bastante espacio para su instalación, carece de elementos móviles, lo que provoca un mantenimiento mínimo y los rendimientos de recuperación suelen buenos, situándose entre el 60 y 70%.

El recuperador *agua-aire* indicado en la *figura 11*, consiste en el empleo de dos baterías intercambiadoras de tubos de cobre con aletas de aluminio, que se instalan en los conductos de extracción y el de entrada de aire respectivamente y se los vincula con una bomba que recircula el agua entre ambas, transfiriendo de esa manera, el calor de una a otra. El rendimiento de estos equipos es de un 40 a 50% y presenta las ventajas de su fácil adaptación al sistema.

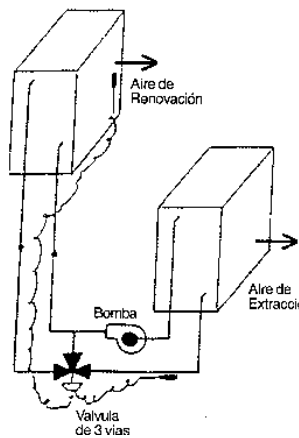


Fig.11 Esquema de recuperador agua- aire

Otro tipo empleado es el *recuperador por tubo de calor* "heat pipe" que está formado por dos baterías construidas por tubos metálicos revestidos interiormente con un material poroso, en los que se les ha hecho vacío y cargado con un líquido refrigerante, el que se separa en dos zonas una fría y otra caliente, tal cual se indica en el detalle de funcionamiento de la *figura 12*.

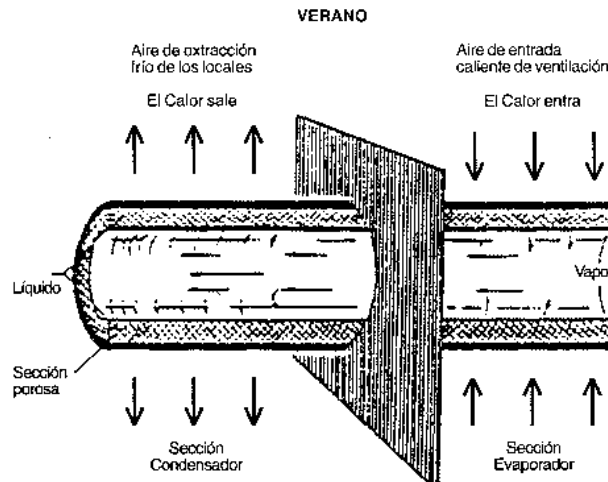


Fig. 12 Principio de funcionamiento de los tubos de calor

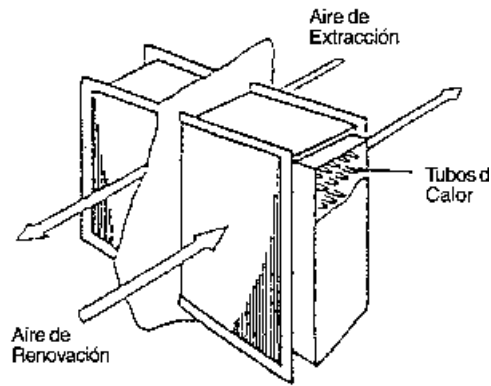


Fig. 13 Configuración externa de un recuperador de tubos de calor

En la zona caliente, por ejemplo, en contacto en verano con el aire de ventilación que entra al sistema de aire acondicionado, se produce la evaporación del líquido, lo que provoca continuamente vacíos en la estructura porosa que son llenados continuamente por nuevo líquido que proviene de la de la sección donde ese vapor se condensa porque se encuentra en la zona fría, que sería el aire viciado que se expulsa de los locales acondicionados. De ese modo, el tubo puede actuar alternativamente como condensador y evaporador en la que fluido que circula de una a otra extremidad por la diferencia de presiones en la masa porosa.

Al colocar varios tubos uno al lado de otro conforman una batería intercambiadora de calor el cual se monta en un marco metálico, que incorpora una separación intermedia que la divide en dos zonas, por donde se hace pasar el aire expulsado y el aire exterior, estableciéndose los flujos a contracorriente para lograr una mayor eficiencia, tal cual se indica en la *figura 13*. Tiene la ventaja de su fácil adaptación a un climatizador o en conductos y carece de mantenimiento mecánico y su rendimiento oscila entre el 50 y 60%.

Otro tipo son los *recuperadores rotativos* que están constituidos por un panel circular de material sintético, 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, como se indica en la *figura 14* y el esquema funcional de la *figura 15*.

La eficiencia del recuperador varía con velocidad de rotación, la velocidad frontal del aire y la densidad del material que constituye el rotor captando el calor sensible y la humedad del aire de extracción con un rendimiento que puede llegar al 75%.

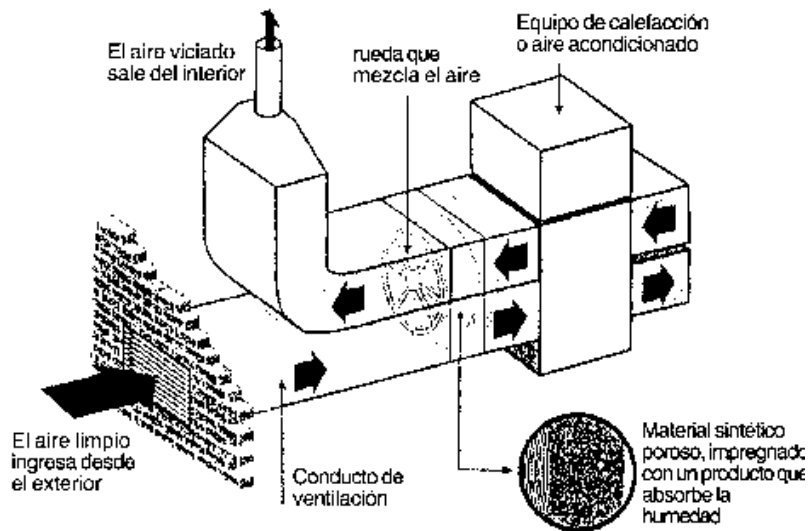


Fig. 14 Detalle esquemático de montaje de recuperador rotativo

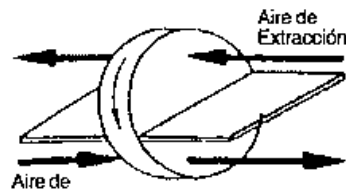


Fig. 15 Esquema funcional recuperador rotativo

Acumulación de calor

El propósito del almacenamiento térmico en sistemas de aire acondicionado consiste en la acumulación de energía en un horario determinado, para utilizarlo a otro diferente, constituyendo lo que se denomina *volante térmico*. y pueden clasificarse según su aplicación para:

- Almacenamiento para refrigeración
- Almacenamiento para calefacción

Sistemas de almacenamiento para refrigeración

Los sistemas de *acumulación para refrigeración* pueden clasificarse en:

- *Sistemas de calor sensible*: Agua fría
- *Sistemas de calor latente*: Agua-hielo o Sales hidratadas

En la *figura 16* se detalla la estrategia operativa para el caso de almacenamiento con agua fría mediante una unidad enfriadora, para satisfacer las cargas de un sistema de aire acondicionado, de acuerdo a lo siguientes:

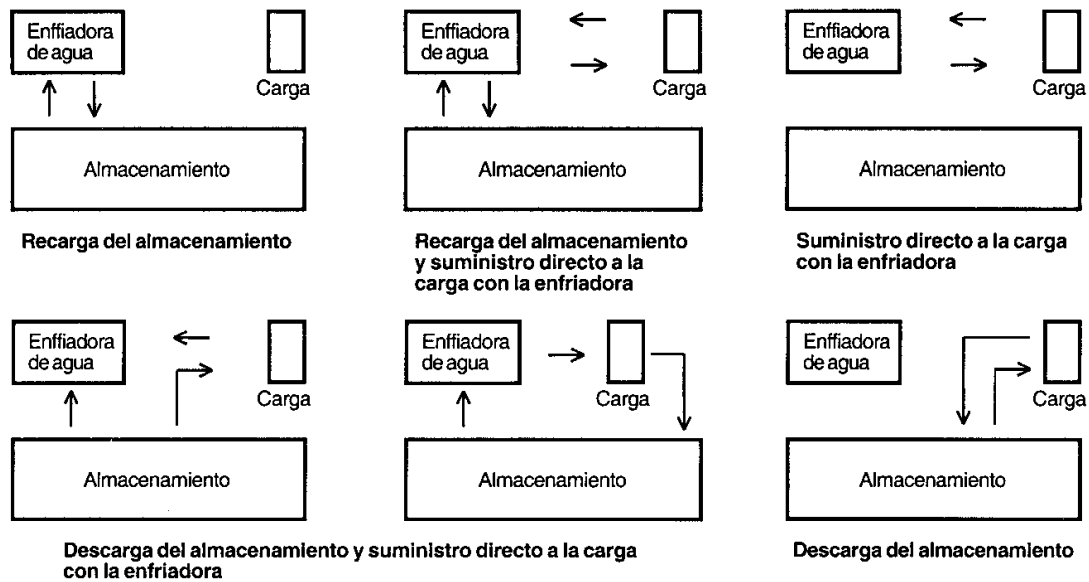


Fig. 16 Estrategia operativa de un sistema de almacenamiento de frío

Recarga de almacenamiento,

- El sistema primario carga directamente al almacenamiento, cuando no existen requerimiento o necesidades en el edificio, generalmente de noche.

Recarga de almacenamiento y suministro al edificio

- El sistema primario satisface la carga del edificio y al mismo tiempo, el exceso de capacidad se destina a cargar el almacenamiento, durante las cargas parciales.

Suministro directo al edificio

- El sistema satisface las cargas instantáneas del edificio, como es el caso de no contar con almacenamiento térmico, generalmente en las cargas elevadas.

Descarga del almacenamiento y carga de trabajo.

- El sistema primario funciona a toda su capacidad y simultáneamente recurre a la carga de almacenamiento para compensar el déficit de carga de capacidad del sistema, en el caso de las cargas pico.

Descarga del almacenamiento.

- El almacenamiento suministra todas las cargas requeridas sin el funcionamiento de los equipos primarios. En caso de falta de energía, tareas de mantenimiento, requerimiento de cargas parciales muy pequeñas inferiores a la capacidad mínima de la máquina o recortes de picos de consumo energético.

Las aplicaciones y ventajas de los sistemas de acumulación son las siguientes:

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* 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 mas 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 los tanques 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 y solo se deben utilizar eventualmente grupos electrógenos móviles si ese tiempo de seguridad de corte es rebasado en caso de extrema necesidad.

En cuanto al *aspecto eléctrico*, durante los períodos fuera de pico, se almacena la energía térmica la que debe estar disponible durante la máxima demanda y en los momentos que se supera el pico de energía eléctrica contratada, se desconecta el equipamiento de aire acondicionado durante el tiempo de autonomía prevista en el diseño del volante térmico. De esa manera, se evita el reajuste de tarifas de las compañías eléctricas con el consiguiente ahorro en los costos energéticos.

Por otra parte, teniendo en cuenta que las Compañías proveedoras de electricidad fomentan el uso de la energía eléctrica en horas nocturnas, generalmente se efectúa el almacenamiento térmico durante las horas de la noche, produciendo de esa manera un ahorro en los costos energético.

Almacenamiento con agua fría

Es el sistema más simple, donde el agua se almacena en un tanque de acumulación como se muestra en la *figura 17* y se enfría fuera de las horas de utilización a la temperatura mas 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.

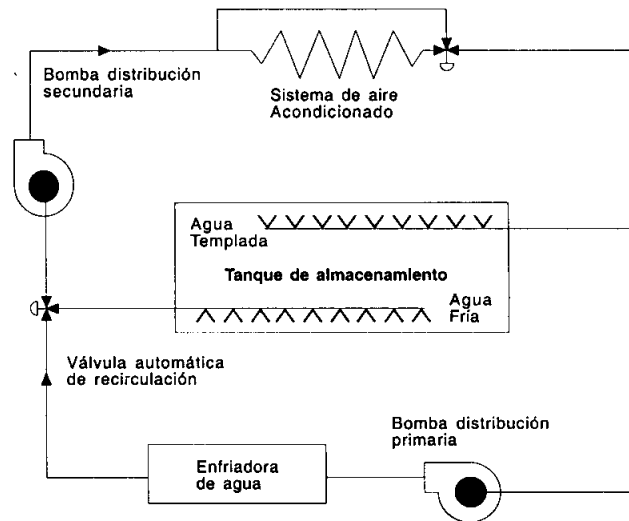


Fig. 17 Detalle esquemático de un sistema de acumulación con agua fría

Con la unidad enfriadora funcionando, se envía la suficiente agua fría para satisfacer la carga requerida de refrigeración y el exceso se bombea dentro del fondo del tanque mientras el agua templada se extrae desde la parte superior del tanque para ser llevada al enfriador. Cuando no hay suficiente agua fría desde el enfriador para satisfacer el requerimiento de refrigeración, se extrae agua fría adicional desde el fondo del tanque mientras que el agua templada de retorno se agrega en la parte superior del tanque.

Debe consignarse 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 6 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.

Sistemas de calor latente

Estos sistemas se caracterizan por grandes cantidades de almacenamiento térmico a casi temperatura constante porque dependen del calor latente asociado con un cambio de estado físico o también denominado *cambio de fase* generalmente *hielo*.

Como una alternativa al hielo, el contenedor puede tener una *sal eutéctica*, que es una mezcla que cambia de estado desde líquido a sólido a una temperatura

específica eligiéndose su fórmula para fijar la temperatura de cambio de estado. Otra variante es el uso de cera encapsulada.

La acumulación térmica de la energía frigorífica se realiza generalmente en grandes instalaciones mediante bancos de hielo, basados en el calor en el calor latente para cambiar de estado físico de agua a hielo, aprovechando las ventajas del alto calor de fusión del hielo (80kcal/kg), la temperatura de 0°C para el cambio de fase, con un volumen mucho menor que el almacenamiento con agua. Los tres sistemas mas utilizados de acumulación de hielo con ligeras variantes son los siguientes:

- Recolección de hielo
- De serpentín
- Cápsulas de hielo

El sistema *recolector de hielo* consiste de una planta generadora de hielo montada sobre un tanque de almacenamiento construido en sitio que contiene una mezcla de hielo y agua enfriada, como se indica en la *figura*, compuesto por un recinto de generación que en su interior existen tubos, placas o serpentines recorrido por el refrigerante, a una temperatura de evaporación por debajo de 0°C. La superficie exterior de los tubos, placas o serpentines sirve de soporte al hielo, producto de la congelación del agua proveniente de un tanque de almacenamiento.

Según se observa en la *figura 18*, el agua enfriada del tanque de almacenamiento es bombeada al servicio del sistema de aire acondicionado para satisfacer las cargas requeridas y el agua que retorna desde el edificio, mas templada, ingresa al recipiente generador de hielo fluyendo sobre el evaporador. Después de un período durante el cual el se produce el hielo en la superficie del evaporador, el ciclo de refrigeración se invierte momentáneamente de manera que la superficie del evaporador se entibia y el hielo cae libremente dentro del tanque de almacenamiento, siendo esta etapa la de recolección del hielo.

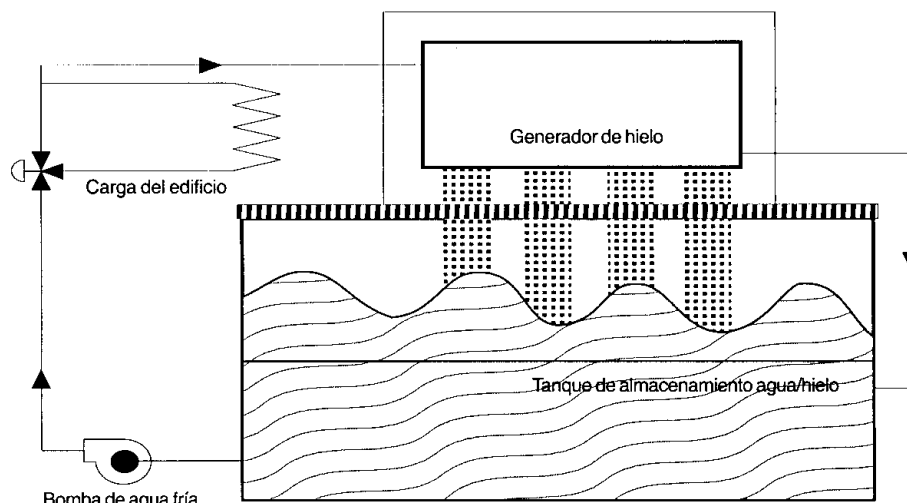


Fig. 18 Detalle esquemático de sistema de recolección de hielo

El *sistema de serpiente*, se utiliza agua con glicol, que circula 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 la *figura 19*. La temperatura de la solución de agua-glicol que circula en el interior de los tubos está alternativamente por debajo o por encima del punto de congelación de 0°C del agua del depósito.

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 así energía frigorífica durante la noche. Durante el día al no funcionar la máquina frigorífica, la temperatura del agua con glicol está por encima del punto de congelación, por lo que el hielo formado a la noche se funde, liberando la energía frigorífica almacenada.

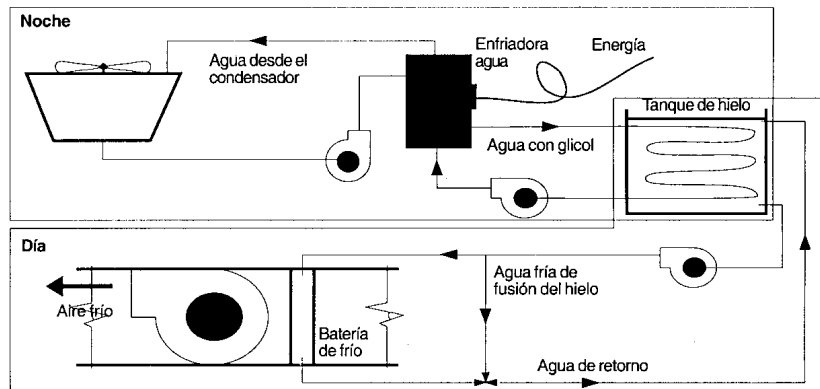


Fig. 19 Detalle esquemático de sistema de almacenamiento de hielo con serpiente

Una desventaja de este sistema es la pérdida de eficiencia de la máquina enfriadora que 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 .

El *sistema de cápsulas* de hielo consiste en un tanque de almacenamiento esta compuesto por una solución de agua con glicol etílico 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 20*. El agua con glicol circula alternativamente a una temperatura por debajo o por encima del punto de congelación.

De esa manera, mientras el agua con glicol está por debajo del punto de congelación, el agente de almacenamiento contenido en él las cápsulas se congela, almacenándose energía térmica frigorífica y 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 forma de esfera, con hoyuelos preformados curvados hacia adentro, que absorben la expansión de la solución acuosa durante la congelación, cambiando su curvatura hacia afuera y convirtiéndose en esferas

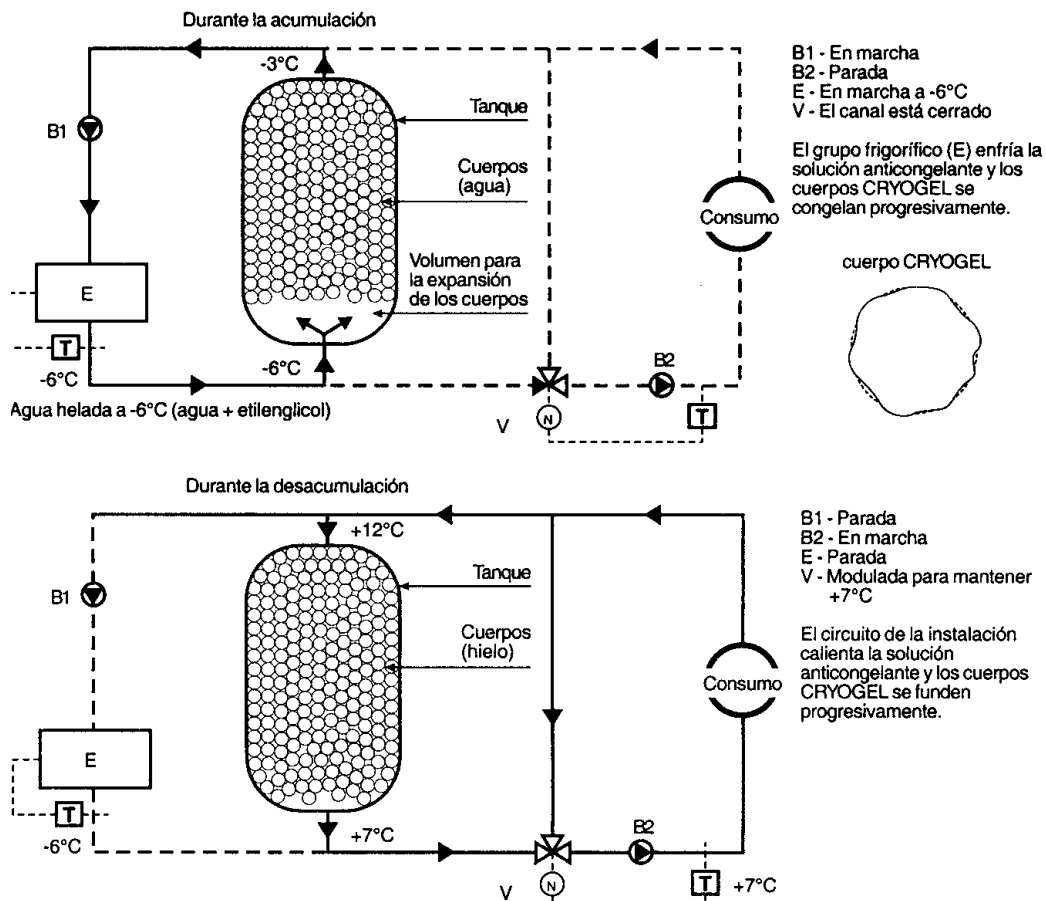


Fig. 20 Esquema simplificado de funcionamiento de acumulación de cápsulas de hielo

CORRECTA REGULACIÓN DEL SISTEMA

Es fundamental disponer de los medios de ajustes necesarios para adaptar los parámetros de funcionamiento de los equipos de modo de lograr una mejora en cuanto a sus condiciones de funcionamiento. Adicionalmente a su optimización, en grandes edificios es conveniente adoptar 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.

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, pudiéndose agregar el control de la iluminación, bombas de agua, etc., porque si se desean obtener significativos ahorros energéticos es necesario medir y controlar continuamente el funcionamiento de todas las instalaciones.