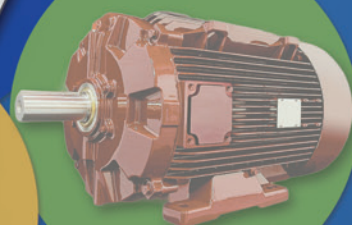


Manual Técnico

Acondicionadores de Aire

ACONDICIONADORES DE AIRE • ILUMINACIÓN • MOTORES ELÉCTRICOS
REFRIGERACIÓN COMERCIAL • POLÍTICA REGIONAL • FINANCIAMIENTO



PEER Programa de Eficiencia Energética Regional
en los Sectores Industrial y Comercial en Centroamérica

Manual Técnico

Acondicionadores de Aire

ACONDICIONADORES DE AIRE • ILUMINACIÓN • MOTORES ELÉCTRICOS
REFRIGERACIÓN COMERCIAL • POLÍTICA REGIONAL • FINANCIAMIENTO



PEER Programa de Eficiencia Energética Regional
en los Sectores Industrial y Comercial en Centroamérica

333.7932

F9812m Fundación Red de Energía - BUN-CA

Manual técnico: Acondicionadores de aire [en línea] / Fundación Red de Energía BUN-CA.

– 1 ed.— San José, C.R. : Biomass Users Network (BUN-CA), 2011.

46 p. ; 27 X 21 cm. (Colección: Acondicionadores de Aire: Serie Manuales Técnicos)

ISBN: 978-9968-904-38-4

1. Eficiencia Energética. 2. Aire Acondicionado. 3. Uso Racional de la Energía.
4. Recursos Energéticos. I. Título.

Reservados todos los derechos.

©Copyright 2007, BUN-CA.

1ª edición, Marzo, 2009

San José, Costa Rica

Este documento fue elaborado por BUN-CA en el marco de su Estrategia Regional de Eficiencia Energética y puede ser utilizado libremente para propósitos no-comerciales con el debido reconocimiento al autor.

Esta publicación ha sido posible gracias a la ejecución del Programa PEER (Programa de Eficiencia Energética en los Sectores Industrial y Comercial en América Central), implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y financiado por el Fondo del Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés) en el marco del Programa Operacional No. 5 del Área Temática de Cambio Climático, bajo los términos del Contrato No. 50949. Las opiniones expresadas en este documento son de BUN-CA y no necesariamente reflejan el parecer de las agencias cooperantes.

Nota: Se agradece a los diferentes consultores los aportes técnicos a esta publicación.

Diagramación:

Diseño Editorial S. A. | www.kikeytetey.com

INDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
TABLA DE SIMBOLOGÍA.....	vi
PREFACIO	1
INTRODUCCIÓN	2
I. FUNDAMENTOS DEL ACONDICIONADOR DE AIRE.....	3
1.1 Conceptos básicos.....	3
1.2 Principio termodinámico del acondicionador de aire	5
1.2.1 Componentes básicos.....	5
1.3 Eficiencia de los equipos.....	7
1.3.1 La eficiencia electro-mecánica	7
1.3.2 La eficiencia termodinámica	9
1.3.3 Los índices REE y SEER	11
1.4 Tipos de compresores.....	14
1.4.1 Compresores reciprocantes.....	14
1.4.2 Compresores rotativos.....	14
1.5 Otros componentes	16
1.5.1 Termostato o control de temperatura	16
1.5.2 Termómetro.....	16
1.5.3 Ventiladores, turbinas y bombas.....	17
1.5.4 Filtros	17
1.5.5 Ductos.....	17
1.5.6 Materiales aislantes.....	18
II. LA CARGA TÉRMICA DE ENFRIAMIENTO EN EDIFICIOS	20
2.1 Fuentes de calor externas	21
2.1.1 Otras fuentes de calor externas: infiltración y /o ventilación	21
2.2 Fuentes de calor internas	23
III. LOS EQUIPOS ACONDICIONADORES DE AIRE	24
3.1 Tipos de equipos	24
3.1.1 Equipos de ventana	24
3.1.2 Equipos centrales	25
3.1.3 Equipos mini-split y multi-split.....	25
3.1.4 Equipos paquete.....	26
3.1.5 Equipos enfriadores de líquido o “chillers”	26
3.2 Otras tecnologías en sistemas acondicionadores de aire	29
3.2.1 Enfriamiento por absorción.....	29
3.2.2 Almacenamiento térmico (o cuartos de hielo).....	30
3.2.3 Humidificación del aire.....	30
3.2.4 Desecantes	31
3.2.5 Enfriamiento solar	31
3.2.6 Método alternativo para acondicionar los edificios	31
IV. BUENAS PRÁCTICAS EN EL USO DE LOS ACONDICIONADORES DE AIRE	32
BIBLIOGRAFÍA Y OTRAS REFERENCIAS.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig 1.	Cilindros de refrigerante.....	4
Fig 2.	Componentes de un sistema de aire acondicionado	5
Fig 3.	Condensador	6
Fig 4.	Evaporador de una unidad minisplit	6
Fig 5.	Ejemplo de etiqueta de consumo energético	13
Fig 6.	Compresores abiertos	14
Fig 7.	Compresores herméticos.....	14
Fig 8.	Compresores semi-herméticos.....	14
Fig 9.	Compresores scroll.....	14
Fig 10.	Compresores de pistón rodante	15
Fig 11.	Compresores de tornillo	15
Fig 12.	Compresor centrífugo.....	15
Fig 13.	Termostato	16
Fig 14.	Termómetro electrónico	17
Fig 15.	Pérdidas de presión en filtros sucios y limpios.....	17
Fig 16.	Ducto rectangular de lámina sencilla.....	18
Fig 17.	Anemómetro para medir el flujo de aire en los ductos	18
Fig 18.	Rollo de fibra de vidrio para aislamiento de ductos o techos	19
Fig 19.	Diferentes cargas de calor en edificios.....	20
Fig 20.	Equipo de ventana.....	24
Fig 21.	Unidad evaporadora de un equipo central típico	25
Fig 22.	Equipo mini-split.....	26
Fig 23.	Equipos tipo paquete.....	26
Fig 24.	Equipos enfriadores de líquidos (chillers).	27
Fig 25.	Unidad fan-coil	28
Fig 26.	Chiller de absorción	29
Fig 27.	Almacenamiento térmico, en el cual puede emplearse agua o hielo	30
Fig 28.	Programa “Energy Star”.....	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Rango de temperatura y humedad recomendadas	3
Tabla 2.	Medidas con referencia a la eficiencia electro-mecánica en equipos acondicionadores de aire.	8
Tabla 3.	Requerimientos mínimos de ventilación	22
Tabla 4.	Cálculo carga enfriamiento en TR estimada (mínima o máxima).....	23

TABLA DE SIMBOLOGÍA

ARI	Instituto Americano de Refrigeración, por sus siglas en inglés
ASS	Temperatura de bulbo seco de inyección (F°)
°C	Grados celsius o centígrados
BTU	British Thermal Unit: Unidad Térmica Británica
BTU/H O BTUH	Potencia Térmica en una hora
BUN-CA	Fundación Red de Energía
CAL	Caloría
CAL/H	Calorías en una hora
CDR O COP	Coeficiente de operación, funcionamiento o rendimiento
CFC	Clorofluorocarburos
CFM	Flujo volumétrico de aire (pies cúbicos/min)
CHClF ₂	Clorodifluorometano
CH ₂ FCF ₃	Tetrafluoroetano
°F	Grados Fahrenheit
Ft ²	Pies cuadrados
GEF	Fondo del Medio Ambiente Mundial
h	Horas
H.R.	Humedad relativa interior (%)
Kbtu	Kilovatios por potencia térmica BTU
kg	Kilogramo = 1.000 gramos
Kw	Kilovatio = 1.000 Vatios
Kwh	Kilovatio por hora
KWH/TR O KW/TON	Kilovatio hora por tonelada de refrigeración
lb	Libra
MBH	Millar BTUH = 1,000 BTUH
M ³ /min	Metros cúbicos por minuto
ON	Encendido
pcm	Pies cúbicos por minuto
PEER	Programa de Eficiencia Energética en los Sectores Industrial y Comercial en América Central

PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
psig	Libras por pulgada cuadrada manométricas
PUIG	Presión medida en libras sobre pulgada cuadrada sin tomar en cuenta la presión del aire exterior
P ³ /MIN	Pies cúbicos por minuto
PYMES	Pequeñas y Medianas Empresas
Q	Calor retirado total (BTU/h)
RAC	Acondicionadores de Aire Tipo Ventana
REE (O EER)	Relación de eficiencia de energía
SEER	Relación de eficiencia de energía en una temporada de uso de los equipos acondicionadores de aire
TBHE	Temperatura de bulbo húmedo del retorno (F°)
TBHS	Temperatura de bulbo húmedo de inyección (F°)
TBSE	Temperatura de bulbo seco del retorno (F°)
TBHS	Temperatura de bulbo húmedo de inyección (F°)
TEMP	Temperatura ambiente exterior (F°)
ton	Toneladas
TR	Tonelada de refrigeración = 12.000 BTU/h = 12 MBH
UEE	Unidades de Enfriamiento Evaporativo
W	Vatio
W/W	Vatio térmico sobre Vatio eléctrico
DH	Cambio de entalpía del aire (BTU/lbm)

PREFACIO

Uno de los mayores retos de la sociedad moderna es procurar la explotación suficiente y sostenible de recursos energéticos para sustentar las actividades económicas y el desarrollo de sus pueblos. En los últimos años hemos experimentado a nivel mundial una problemática de magnitudes titánicas en cuanto a los altos costos y la escasez de la energía. El problema tiene connotaciones aún más marcadas en regiones como la nuestra, que se encuentran en pleno desarrollo social y económico. Este crecimiento ha procurado un incremento acelerado en la demanda energética de la región centroamericana, y exige que identifiquemos maneras de hacerle frente a esta problemática.

La eficiencia energética ha sido identificada como una herramienta valiosa en la mitigación del crecimiento de la demanda energética. Tiene un valor económico muy alto, ya que las inversiones requeridas para adecuar tecnología, reorganizar el comportamiento organizacional asociado al uso de la energía y realizar los mantenimientos y otros cambios conducentes a la mejora de la eficiencia energética, son mucho más económicos que la expansión de la matriz energética. Esto es especialmente cierto para nuestra región donde un gran porcentaje de la energía proviene de la explotación de los recursos energéticos fósiles, los cuales son importados a un alto costo.

La Universidad Tecnológica de Panamá tiene como parte de su misión promover e impulsar el desarrollo tecnológico, económico, social y cultural. Y dentro de esta misión presenta a la comunidad estos manuales técnicos de iluminación, motores eléctricos, refrigeración comercial y acondicionadores de aire los cuales muestran no sólo una descripción detallada del estado de la tecnología de cada área, sino que además incluyen un conjunto de buenas prácticas conducentes a un incremento en la eficiencia energética de estos sistemas en el contexto centroamericano.

Estos manuales han sido desarrollados por la Fundación BUN-CA como parte de sus planes de trabajo, en los cuales la Universidad Tecnológica de Panamá es un socio estratégico importante. La información presentada en estos manuales ha sido recabada por especialistas del más alto nivel en la región, y son una fuente confiable tanto para los ingenieros practicantes, como para los no especialistas que deseen tener una visión general sobre el tema.

Si bien la intención de estos manuales no es preparar especialistas en los temas tratados, tienen el propósito de concientizar a la comunidad en estos temas, y son un excelente medio de actualización para los profesionales. Esperamos que esta co-edición sea de su agrado y que se conviertan en una herramienta más del desarrollo social, comercial y energético en Centroamérica.

Ing. Marcela Paredes de Vásquez
Rectora
Universidad Tecnológica de Panamá, 2011

INTRODUCCIÓN

La capacidad instalada de generación eléctrica en Centroamérica depende cada vez más de los hidrocarburos importados, lo cual aumenta la vulnerabilidad energética de la región y provoca un aumento en las emisiones de gases efecto invernadero.

Conforme aumentan los costos de generación de electricidad y la demanda promedio continúa creciendo a un 6% anual, de cara a un entorno regional de mayor competitividad y mayor desarrollo socio-económico, las necesidades de la nueva capacidad instalada aumentan exponencialmente.

El equipamiento eléctrico utilizado en la mayoría de los procesos industriales y en la infraestructura comercial presenta bajos niveles de rendimiento; ello, aunado a que el equipo ha sobrepasado su período de vida útil o se acerca a ese límite, provocando considerables desperdicios energéticos. Esto se traduce en un incremento en los costos de producción y costos operativos.

Para emprender el desarrollo de mercados sostenibles en torno al uso final eficiente de la electricidad, se requiere eliminar una serie de barreras de tipo político, financiero, técnico y de información.

BUN-CA y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), con el financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF), desarrollan el “Programa Regional en Eficiencia Energética para los Sectores Industrial y Comercial en América Central” (PEER), iniciativa que contribuye, entre otros objetivos, a remover las barreras de la falta de conocimiento e información técnica para desarrollar los mercados de eficiencia energética en Centro América.

El presente Manual tiene el objetivo específico de fortalecer la plataforma de conocimiento en el nivel centroamericano y brindar las bases para el desarrollo técnico necesario, a fin de realizar una adecuada selección y uso de los sistemas de iluminación. Este texto brinda información técnica sobre los conceptos de estos sistemas, así como de las buenas prácticas que deben ser implementadas para lograr un uso eficiente del equipo.

Este Manual también es un medio para acercar el conocimiento general del ahorro de energía en iluminación eficiente a quienes se encuentren interesados en el tema, en él encontrarán prioridad en el tema de eficiencia energética, por tanto aspectos como diseño, manufactura, y otros semejantes no son abordados a profundidad.

Fundación BUN-CA, 2011

I. FUNDAMENTOS DEL ACONDICIONADOR DE AIRE

Este Capítulo describe los conceptos básicos de termodinámica y del acondicionamiento del aire y las formas de medir la eficiencia energética. Se comentan los dos tipos de compresores comerciales más comunes en el contexto centroamericano, y se explican los componentes principales de un sistema acondicionador de aire.

1.1 Conceptos básicos

El cuerpo humano genera calor y mantiene una temperatura interna aproximada de 37°C (98.6° F). Para controlar su temperatura utiliza la conducción por contacto de la piel con la ropa o superficies frías o calientes, radiación¹ a los cuerpos a menor temperatura, convección² con el aire o el agua y evaporación³ por medio del sudor o el aliento.

El cuerpo humano no tiene capacidad para determinar la temperatura del ambiente que lo rodea, pero puede “sentir” si las condiciones son “frías” o “calientes” por comparación. Un ejemplo práctico es sumergir la mano derecha en un recipiente con agua caliente y la izquierda en agua fría por unos segundos y luego introducir ambas manos en otro recipiente a temperatura ambiente, se sentirá un proceso inverso, el agua está helada con la mano derecha y está caliente con la izquierda, aunque el recipiente esté a la misma temperatura.

A la sensación agradable del cuerpo humano ante la temperatura ambiente se le conoce como “*comfort*”. El “*comfort*” no es una condición única para todas las personas, ya que algunas sentirán el clima agradable, mientras otras, muy frío o muy caliente, por lo que se definen rangos donde la gran mayoría de las personas se siente cómoda en un ambiente determinado (Tabla 1). A estas condiciones se les llama “zona de confort” y son esenciales para las aplicaciones de los acondicionadores de aire.

Tabla 1. Rango de temperatura y humedad recomendadas

Espacios	Rangos
Residencias y apartamentos, hoteles, oficinas, colegios, hospitales, salas de aeróbicos, etc.	23 a 26° C (73 a 79° F)
Tiendas, cines, restaurantes, bares, supermercados, bancos, iglesias, auditorios, etc.	24 a 27° C (75 – 80° F)
Industria en general ⁴ , salas de máquinas, líneas de montaje.	25 a 28° C (77 – 84° F)
La humedad se recomienda entre 45 y 55% de Humedad Relativa Interior (H.R.) en todos los espacios.	

Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

- 1 Radiación: Transferencia de calor entre dos cuerpos por el simple hecho de tener temperaturas diferentes.
- 2 Convección: Transferencia de calor por medio del paso o flujo de aire o agua sobre un cuerpo.
- 3 Evaporación: Proceso físico en sí, que trata del cambio de estado, de líquido a gaseoso.
- 4 Existen condiciones especiales de acondicionamiento de aire para ciertos procesos, por lo que el valor requerido puede ser especificado por el fabricante de los aparatos o por el proceso mismo. Por ejemplo: los fósforos se fabrican a temperaturas de 22° C y entre 40 y 50% humedad.

Es importante hacer notar que es más económico operar el acondicionador de aire a la temperatura más alta del rango descrito en la Tabla 1, ya que cuanto más frío se requiera el ambiente, más trabajará el sistema y consumirá una mayor cantidad de energía.

Para medir la cantidad de calor que un equipo requiere remover de un ambiente interior, se define el concepto de la caloría y la Unidad Térmica Británica (BTU⁵). Ambas medidas representan el calor necesario para elevar en un grado de temperatura una masa determinada de agua.

La diferencia es que la caloría considera grados Celcius (°C) y kilogramos (Kg), mientras que el BTU utiliza grados Fahrenheit (°F) y libras (Lb). Como lo que interesa es conocer cuánto calor se remueve en un tiempo dado, las unidades de acondicionadores de aire se catalogan en Cal/h o BTU/h. Existen otras unidades equivalentes para este mismo fin: en el contexto centroamericano una muy usada es la tonelada de refrigeración (TR), equivalente a 12,000 BTU/h. Otras nomenclaturas utilizan el MBH, que significa 1.000 BTU/h. Por ejemplo, un equipo de 5 TR equivale a 60.000 BTU/h o 60 MBH. Por otra parte, la potencia de energía eléctrica se mide en Vatios o *Watts* (W) o kiloVatios (kW = 1.000 W) y el consumo en kW por hora (kWh).

Existen diversas tecnologías para la climatización de los espacios, como puede ser un ejemplo para las pequeñas y medianas empresas (PyMEs), que utilizan equipos de enfriamiento mecánico de compresión de vapor, llamados así porque se comprime un gas a una temperatura alta, se condensa a su estado líquido y luego se evapora en un tubo o serpentín a una menor presión y temperatura para luego repetir el ciclo. El gas frío se encarga de enfriar aire o agua, que luego se distribuye por medio de ventiladores eléctricos o bombas mecánicas.

El gas empleado en estos equipos se conoce como refrigerante y por lo general son compuestos químicos con propiedades específicas.

Fig 1. Cilindros de refrigerante



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

En los acondicionadores de aire, el refrigerante más utilizado para aplicaciones residenciales y comerciales es el R-22 (Clorodifluorometano o CHClF_2), comercializado en cilindros de color verde (Fig 1). En aplicaciones industriales y automotrices también se encuentra el R-134a (Tetrafluoroetano CH_2FCF_3), almacenado en cilindros color celeste (Fig 1), caracterizándose por ser ecológico al no contener gases clorofluorocarburos (CFC).

5 BTU: British Thermal Unit o Unidad Térmica Británica. Equivale al calor necesario para calentar en 1°F una libra de agua

1.2 Principio termodinámico del acondicionador de aire

El principio termodinámico es bastante sencillo: cuando un líquido se evapora, absorbe calor de sus alrededores, produciendo un enfriamiento. Esto puede apreciarse al salir de una piscina y recibir una brisa suave. El cuerpo sentirá que el aire es mucho más frío, pero en realidad es la evaporación del agua en la piel lo que nos hace sentir así. Otro ejemplo es al comer un dulce mentolado y luego tomar agua. La sensación será que el agua está mucho más fría.

Acondicionar aire es controlar la temperatura, humedad y calidad⁶ del ambiente por medio de enfriamiento, calentamiento, recirculación, ventilación y limpieza del aire.

1.2.1 Componentes básicos

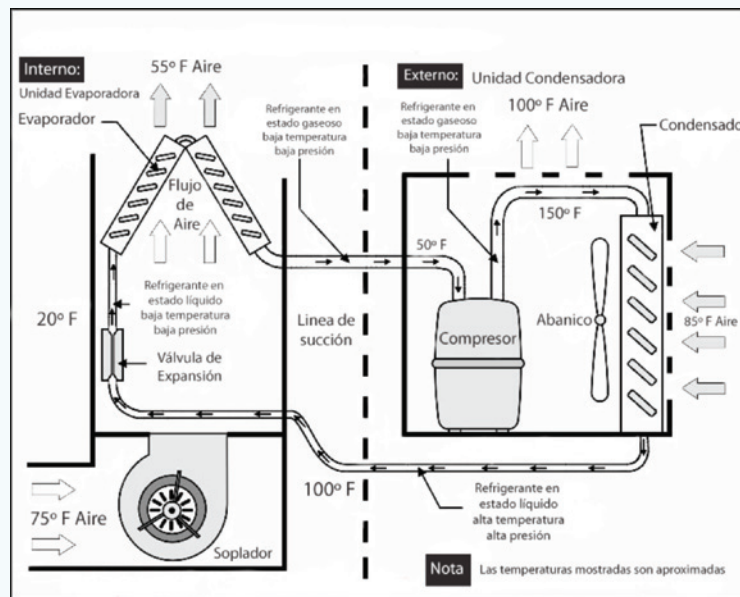
Los equipos acondicionadores de aire poseen las siguientes componentes principales, que se ilustran en la Figura 2.

Compresor

Este elemento es generalmente impulsado por un motor eléctrico. Es el componente más costoso y el que consume más del 80% de la energía eléctrica del equipo; su función es presurizar el gas refrigerante dentro del sistema y actúa como una bomba que aspira y empuja el refrigerante en las tuberías. El compresor puede ser de tipo reciprocante, paletas, pistón rodante o espiral (*scroll*). Los consumos varían entre 1,3 kWh/TR para el tipo reciprocante y 0,8 kWh/TR para el pistón rodante.

En una PyME se utilizan comúnmente equipos entre 1 y 5 TR. En instalaciones físicas que requieren equipos más grandes, los compresores pueden ser centrífugos o de tornillo, mucho más eficientes, con consumos de entre 0,6 y 0,8 kWh/TR, donde los sistemas de climatización emplean acondicionadores de aire enfriados por aire.

Fig 2. Componentes de un sistema de aire acondicionado



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

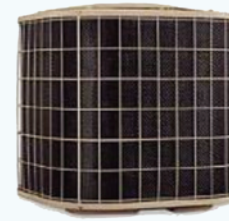
⁶ Aire de buena calidad es aquel libre de contaminantes como polvo, polen, malos olores, sustancias peligrosas y otras partículas o gérmenes suspendidos y con suficiente oxígeno para respirar en condiciones normales.

Condensador

Este componente consiste en un serpentín con aletas metálicas y uno o más ventiladores que impulsan aire al ambiente para enfriar el vapor refrigerante caliente (a unos 5,5 o 6°C sobre la temperatura ambiente) (Fig 3) y condensarlo a su estado líquido, a una temperatura igual o ligeramente mayor que la del ambiente. Al refrigerante bajo estas condiciones se le conoce como líquido subenfriado.

El consumo de electricidad del motor del ventilador del condensador no es significativo, pero cuando éste se obstruye con polvo o suciedad, absorbe menos calor del refrigerante y la presión de trabajo del compresor será mayor y demandará más potencia y energía. Existen condensadores que son enfriados por agua en lugar de aire, más eficientes en el consumo de energía, pero requieren de mayor inversión y su costo de operación es más alto, debido al consumo de agua por evaporación.

Fig 3. Condensador



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Dispositivo de expansión o válvula de expansión

Este dispositivo se encarga de restringir el paso del refrigerante lo suficiente como para que ocurra una gran caída de presión (Fig 2). Cuando esto sucede, el líquido se expande y una parte se evapora, bajando su temperatura. Cuanto más “subenfriado” llegue el líquido refrigerante a la válvula, menos cantidad tendrá que evaporarse para alcanzar la temperatura adecuada de enfriamiento, una razón más de la importancia de una operación eficiente del condensador.

Evaporador

Es un serpentín con aletas similar al condensador, pero de menor tamaño (Fig 4). La mezcla vapor+líquido que sale del dispositivo de expansión recorre todo el serpentín y absorbe el calor de los alrededores, enfriando cualquier fluido que pase a su alrededor (agua o aire). La eficiencia del evaporador radica en lo efectivo que el calor se intercambia entre el refrigerante que se evapora, en la cantidad de líquido que no se evaporó durante la expansión y en qué tanto se calentó el refrigerante (sobrecalentamiento) al llegar al final del evaporador.

Fig 4. Evaporador de una unidad minisplit



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Esto implica que la limpieza del serpentín es importante por tres razones principales:

- La suciedad reduce la transferencia de calor, además
- obstruye el paso del aire, obligando al motor del ventilador a consumir mayor potencia, y
- la presión con que el compresor aspira deberá ser menor para contrarrestar la menor eficiencia del evaporador, lo cual lo obliga a demandar mayor potencia.

1.3 Eficiencia de los equipos

Según la Segunda Ley de la Termodinámica, la energía no se crea ni se destruye, solamente se transforma. Sin embargo, al convertir un tipo de energía en otra, por ejemplo, al transformar el flujo eléctrico en el movimiento de un compresor o ventilador, una parte de la energía se pierde en otra forma no deseada, como lo es en calor y ruido. En términos energéticos, la **eficiencia** es la medida de la cantidad de energía útil después de una conversión. Un equipo eficiente es, entonces, el que genera un mínimo de pérdidas de energía.

El comportamiento de los equipos acondicionadores de aire en lo que respecta a la evaluación de las pérdidas de energía, según las condiciones de diseño originales, se puede evaluar en relación a dos tipos de eficiencias: la electro-mecánica y la termodinámica. Los fabricantes han desarrollado dos conceptos de la Relación de Eficiencia Energética (REE y SEER), según los protocolos para la evaluación de la eficiencia energética, con parámetros de operación debidamente controlados en los laboratorios de ensayo, a fin de determinar la relación entre el consumo de energía eléctrica de los equipos con respecto a la generación de energía (frigorífica) empleada en el proceso de refrigeración.

De tal forma, la Relación de Eficiencia Energética se cuantifica y publica con un valor numérico que permita a los técnicos, usuarios e ingenieros proyectistas de este tipo de instalaciones electro-mecánicas, evaluar las condiciones que propicien la reducción del consumo de energía de estos equipos.

1.3.1 La eficiencia electro-mecánica

La eficiencia electro-mecánica se refiere a la eficiencia de convertir energía eléctrica en trabajo mecánico. Esta depende de las características electro-mecánicas o de fabricación de las partes del equipo y se ve afectada por los tipos de motores y piezas mecánicas asociadas como: acoples, baleros y chumaceras, fajas, poleas, etc. Generalmente, la eficiencia electro-mecánica es tomada en cuenta por el fabricante al indicar los consumos de sus equipos.

El mantenimiento preventivo permite conservar estas eficiencias en un nivel óptimo. La vibración excesiva y el calentamiento de las partes mecánicas es un indicador de cuanta energía se pierde por la fricción de las piezas mecánicas, por lo que es conveniente llevar un registro de las temperaturas de los componentes mecánicos para determinar el deterioro de las piezas o la necesidad de realizar la lubricación.

La mano de obra debe ser también calificada; una faja puede ser de excelente calidad, pero de nada servirá si se coloca floja, mal alineada o no es del tamaño requerido. Esto no sólo hará energéticamente menos eficiente el equipo, sino que también existe un alto riesgo de desgaste y daños prematuros de sus componentes.

Para medir la eficiencia electro-mecánica, hay que disponer de instrumentación adecuada como termómetros, amperímetros, medidores de vibraciones, calibradores, manómetros etc., y tener un historial de cómo trabajaba el equipo recién instalado. Por lo tanto, no es una medición que se pueda obtener en una sola visita de diagnóstico energético, en otras palabras, con este tipo de medición se evalúa más la calidad del mantenimiento y la eficiencia termodinámica.

En la Tabla 2 se enuncian las medidas para conocer deficiencias en la eficiencia electro-mecánica de un equipo analizado, con respecto a los parámetros de diseño originales.

Tabla 2. Medidas con referencia a la eficiencia electro-mecánica en equipos acondicionadores de aire.

Elemento	Medida de observación	Resultado a analizar
Compresores	- Llevar un registro mensual de voltaje, amperaje y temperatura de trabajo del equipo, así como de las presiones cada trimestre. - Identificar vibraciones que producen chillidos o ruidos excesivos. - El equipo arranca y para en periodos cortos (ciclado). - La temperatura del condensador es mayor a 6°C con respecto al ambiente.	- Si el consumo de energía aumenta en condiciones de operación similares, se observará un amperaje mayor a las lecturas previas. Si el valor es mayor al especificado por el fabricante, el equipo tiene el riesgo de dañarse, por lo que se requiere llevar a cabo una medición inmediata de presiones de succión y descarga, carga de refrigerante, limpieza de filtros y serpentines de condensador y evaporador. La corrección de este problema requiere mano de obra calificada para la reparación. - Los ruidos excesivos son producto del desgaste de las piezas en movimiento, por lo que se deben lubricar, engrasar o alinear. Si el ruido persiste o aumenta, se requiere de un mantenimiento correctivo con personal técnico calificado. - Es señal de suciedad en el serpentín, lo cual reduce el paso del aire y la transferencia de calor al medio ambiente. Se recomienda limpiar mensualmente. - Este resultado indica que el equipo seleccionado es de mayor capacidad a la necesaria, por lo que se debe verificar la carga térmica del espacio y comparar. El calentamiento también puede ser causado por una falla mecánica en el compresor y falta de refrigerante en el equipo, por lo que el equipo trabajará con presiones más altas y será menos eficiente. Esto es causado por obstrucción o suciedad en el condensador, falla en el motor del ventilador.
Rejillas y difusores de salida de aire	- Las rejillas o difusores de salida de aire de suministro están sucios o arrojan suciedad. - Las rejillas producen ruido o “silban”, sudan y condensan agua.	- El equipo no está recibiendo el mantenimiento preventivo de limpieza. Los filtros están sucios, rotos o no existen. En casos muy graves, se requiere expertos en ductería para verificar si el ducto se encuentra dañado. - El ducto está mal diseñado y tiene un tamaño menor al requerido. Su atención requiere de un especialista en ductería, ya que este problema aumenta la potencia del motor del evaporador. Otra causa es un ajuste de temperatura muy bajo del termostato.
Evaporador	- El serpentín o tubería del aparato se congela o escarcha. - El evaporador vibra o hace ruido metálico por roce de alguna pieza.	- El evaporador requiere limpieza y mantenimiento preventivo. Otra causa es poco refrigerante en el sistema o ventilador dañado, faja rota o dañada. - La vibración excesiva de la turbina del evaporador se debe a un desgaste en la chumacera o balero, o una mala alineación de las fajas. Las fajas mal alineadas, muy flojas o muy apretadas hacen consumir más energía al motor eléctrico y lo dañan. En ambos casos hay que solicitar asistencia técnica especializada.

Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

1.3.2 La eficiencia termodinámica

La eficiencia termodinámica depende de las condiciones de operación del sistema: la temperatura ambiente a la que está el condensador, la temperatura de enfriamiento del evaporador y qué tipo de refrigerante fluye por el equipo. Otros factores como el subenfriamiento y el sobrecalentamiento también afectan esta eficiencia.

El valor que mide esta propiedad se conoce como el Coeficiente Operacional (COP), aunque en algunos países se le llama Coeficiente de Rendimiento (CDR). Este relaciona la capacidad de enfriamiento con el consumo de potencia del equipo, es decir, la cantidad de calor que éste absorbe con respecto a la energía que requiere el compresor, ambos datos medidos en iguales unidades.

El CDR varía con las condiciones de operación, lo que implica que un mismo equipo tendrá distinta eficiencia a medida de que varíen las condiciones de trabajo. También puede medirse con instrumentos adecuados: termómetro, medidor de flujo de aire (o agua si aplica) y medidores de potencia eléctrica (amperímetro/voltímetro). En breves palabras, es lo que realmente enfría el equipo entre la energía que consume, todo medido en las mismas unidades.

Las premisas básicas del comportamiento de los equipos son:

- A mayor temperatura ambiente, mayor presión de condensación, menor CDR y es mayor el consumo energético.
- A menor presión de condensación por un mantenimiento adecuado, aumenta la capacidad de refrigeración, ya que el refrigerante requiere menos enfriamiento, debido a la baja temperatura de condensación.
- A menor presión de condensación por un mantenimiento adecuado, disminuye el flujo másico⁷ por tonelada de capacidad de refrigeración, debido a que aumenta el efecto refrigerante.
- A menor presión de condensación por un mantenimiento adecuado, disminuye el calor de compresión y, por ende, el amperaje, debido a que se requiere menos trabajo para comprimir.
- A menor presión de condensación por un mantenimiento adecuado, disminuye el calor rechazado en el condensador al disminuir el flujo másico.
- A menor presión de condensación por un mantenimiento adecuado, disminuye la potencia requerida por tonelada por la reducción tanto en el trabajo de compresión, como en el flujo de refrigerante en el sistema.
- A menor temperatura de evaporación, menor presión de succión, menor será el CDR y se invierte más en consumo energético.
- A mayor temperatura de evaporación por un mantenimiento adecuado, se logra un incremento en el efecto refrigerante, ya que se requiere menos gas de vaporización súbita para enfriar el refrigerante, dejando una mayor proporción de líquido para realizar refrigeración útil en el evaporador.
- A mayor temperatura de evaporación por un mantenimiento adecuado, se lleva a cabo una disminución en el flujo másico por tonelada de refrigeración, al aumentar el efecto refrigerante.

⁷ Flujo másico: cantidad de masa de refrigerante (Kg o lb) que circula por las tuberías por segundo.

- A mayor temperatura de evaporación por un mantenimiento adecuado, disminuye el calor de compresión y, por ende, el amperaje, debido a que se requiere menos trabajo para comprimir el gas, en un intervalo de presión más reducido.
- A mayor temperatura de evaporación por un mantenimiento adecuado, disminuye el calor rechazado por tonelada en el condensador.
- A mayor temperatura de evaporación por un mantenimiento adecuado, se reduce la potencia requerida por tonelada de refrigeración, ya que existe una disminución en el trabajo de compresión y en el flujo de refrigerante en el sistema.
- A mayor sobrecalentamiento, menor será el CDR y es mayor el consumo energético.
- A mayor subenfriamiento, mucho mejor será el CDR y se consumirá menos energía.

¿Qué afecta la eficiencia termodinámica de los equipos?

- **Temperatura del Aire Exterior**

La variable más importante que afecta la eficiencia termodinámica y sobre la cual, además, no se tiene control, es la temperatura del aire exterior. En climas cálidos, los equipos se vuelven menos eficientes porque el condensador debe enfriar el refrigerante con aire más caliente, lo que produce un incremento en la presión del sistema, mayor potencia del compresor, por lo que el subenfriamiento se reduce.

Un mismo acondicionador de aire será más eficiente en la montaña que en la costa, por el simple hecho de operar con temperaturas diferentes. También, la contaminación por polvo y suciedad que se acumula en el condensador le restan eficiencia y capacidad, por lo que nuevamente el mantenimiento preventivo es fundamental para un funcionamiento óptimo.

Se ha demostrado experimentalmente, y lo explican adecuadamente las leyes de la termodinámica, que el nivel de temperatura de la zona en la cual es rechazado el calor en el ciclo de refrigeración influye directamente en la eficiencia del ciclo.

Así, cuanto mayor sea esta temperatura, menor será la eficiencia. Si a esto se suma la reducción de rendimiento de los motores eléctricos y la menor transferencia de calor al reducirse el gradiente motriz de temperaturas, entonces los equipos merman su capacidad de retiro de calor en relación con la cantidad de energía eléctrica suministrada para tal fin.

La causa de este comportamiento en el equipo acondicionador de aire por efecto de la temperatura del aire exterior es que se produce un subenfriamiento inadecuado en el condensador. Esto, a su vez, provoca un mayor flujo de refrigerante en forma de vapor, con lo que el compresor recibirá más carga resultando en un mayor consumo de electricidad.

- **Acumulación de suciedad**

Un factor importante en la operación de los equipos es el impacto negativo de la suciedad depositada en los serpentines, así como una limpieza inadecuada del filtro para polvo del retorno de los equipos. Algunos fabricantes consideran que la falta de limpieza en los serpentines puede reducir la eficiencia del equipo hasta en un 8% para una película de polvo de 1 milímetro de espesor en el condensador.

Puede ocurrir, sin embargo, que la depositación de polvo y materiales fibrosos (sobre todo en el evaporador) sea tal que la operación normal del equipo se afecte sensiblemente. En estos casos ya no se habla de un espesor de película depositada de polvo, sino que el área de flujo para el aire de circulación se reduce en gran medida. Esto provoca una reducción de eficiencia todavía mayor al 8% y puede, inclusive llegar hasta un 40%, dependiendo del grado de obstrucción del serpentín.

- **Propiedades del Gas Refrigerante**

La presión en el condensador es influida por las propiedades del gas refrigerante, de acuerdo con la relación de compresión de diseño. Bajo las mismas condiciones, un equipo acondicionador de aire con gas refrigerante tipo R-22 tendrá presiones de 220 psig, mientras que otro con R134a alcanzará alrededor de 175 psig.

Así, cuanto más se enfríe, el equipo realizará más trabajo y el evaporador tendrá menos líquido después de la expansión dentro de sus serpentines. Esto reduce la capacidad para enfriamiento, como si el equipo en realidad se fuera haciendo más pequeño. Además, el compresor tendrá que succionar a menores presiones y por más tiempo para llegar a temperaturas más bajas, por lo que su potencia también irá en aumento, a medida de que se desee menos temperatura. Lo anterior, gastando más energía (kWh) y mayor potencia (kW).

- **Sobrecalentamiento y Subenfriamiento**

El sobrecalentamiento implica más calor para remover en el condensador, lo cual le resta espacio al equipo para subenfriar. Al salir del evaporador, un poco de sobrecalentamiento previene que ingrese líquido al compresor y lo dañe, pero si las tuberías de succión no están debidamente aisladas, se calientan al pasar por el cielo falso de los edificios o en el exterior y eso no contribuye a reducir la potencia del sistema.

El subenfriamiento, en cambio, permite al refrigerante expandirse más eficientemente al llegar al evaporador, permitiendo menos vapor y más líquido en el serpentín y, por ende, más capacidad de enfriamiento.

- **Humedad Interior**

La humedad interior afecta también la eficiencia, sin embargo, su efecto es menor que el de la temperatura del aire exterior.

- **Otros aspectos**

Los datos reportados para equipos nuevos no consideran el efecto de otros factores tales como el incremento de la temperatura de aire de condensación debido a la disipación en el mismo equipo, de la reflectancia de los muros o techo donde se instala o de la exposición del serpentín del condensador a la radiación solar directa, como ocurre en una gran parte de los equipos instalados. En equipos usados, los consumos son mayores comparados con los nuevos de tecnología más reciente, ya que éstos son más eficientes energéticamente.

1.3.3 Los índices REE y SEER

El consumo de electricidad de un sistema acondicionador de aire depende de manera directa de la Relación de Eficiencia Energética (REE). Los fabricantes y los organismos que norman las especificaciones

de eficiencia de los equipos han definido dos tipos de relación. La más comúnmente empleada es la Relación de Eficiencia Energética Estacional (SEER) (del inglés *Seasonal Energy Efficiency Rating*), la cual representa la cantidad de calor retirado por el equipo y el consumo de electricidad a lo largo de un período establecido de tiempo (la época de verano definida por el mismo fabricante). Esta corresponde cercanamente a la relación de eficiencia obtenida a 85 F° de temperatura exterior y es la que normalmente aparece en las etiquetas de consumo de energía de los aparatos.

Sin embargo, en algunas ocasiones los fabricantes no indican la eficiencia estacional SEER, sino un valor de eficiencia llamado REE (EER, por sus siglas en inglés: *Energy Efficiency Rating*), que se define como la relación entre la cantidad de calor retirado por el equipo y el consumo de electricidad cuando la temperatura de aire exterior que entra al condensador es de 95 F°, expresándose ambas, tanto SEER como EER, en kBTU o kbtu/kWh, en los Estados Unidos, México, Centro y Sudamérica, mientras que en los países europeos es en Watt/Watt.

Este índice no representa únicamente la eficiencia energética del compresor, sino que incorpora el desempeño energético de todos los componentes de la unidad, es decir, de: los motores, los ventiladores, la transferencia de calor de los serpentines del evaporador y condensador, la operación de expansión, del tipo de refrigerante, así como de los materiales utilizados. La REE indica que cuanto mayor sea el valor de la relación de la eficiencia energética de un equipo acondicionador de aire, la tecnología empleada será mejor y más moderna, siendo el principal objetivo la utilización del mínimo de energía eléctrica para climatizar un espacio.

La eficiencia energética de un equipo REE se determina en los laboratorios de prueba de las empresas fabricantes, así como en los laboratorios acreditados para la realización de las pruebas. Tanto fabricantes como Organismos de Certificación se rigen por la norma de eficiencia energética vigente.

Las mediciones en los laboratorios de prueba son controladas de manera muy estricta y los programas de cómputo y simulación que les dan seguimiento a las pruebas, por lo general son desarrollados por técnicos especialistas. La metodología de medición consiste, básicamente, en determinar el retiro efectivo de calor del sistema y obtener la relación con el consumo de electricidad, incorporando los siguientes parámetros:

- Temp.: Temperatura ambiente exterior (F°).
- H.R.: Humedad relativa interior (%).
- TBSe: Temperatura de bulbo seco del retorno (F°).
- TBHe: Temperatura de bulbo húmedo del retorno (F°).
- TBSs: Temperatura de bulbo seco de inyección (F°).
- TBHs: Temperatura de bulbo húmedo de inyección (F°).
- CFM: Flujo volumétrico de aire (pies cúbicos/min).
- ΔH : Cambio de entalpía del aire (BTU/lbm).
- Q: Calor retirado total (BTU/h).
- REE: Relación Eficiencia energética instantánea (kBTU/kWh).

El flujo del calor retirado se determina midiendo los flujos máscos, temperatura de bulbo seco y húmedo y humedad relativa del aire de inyección y de retorno a los ductos.

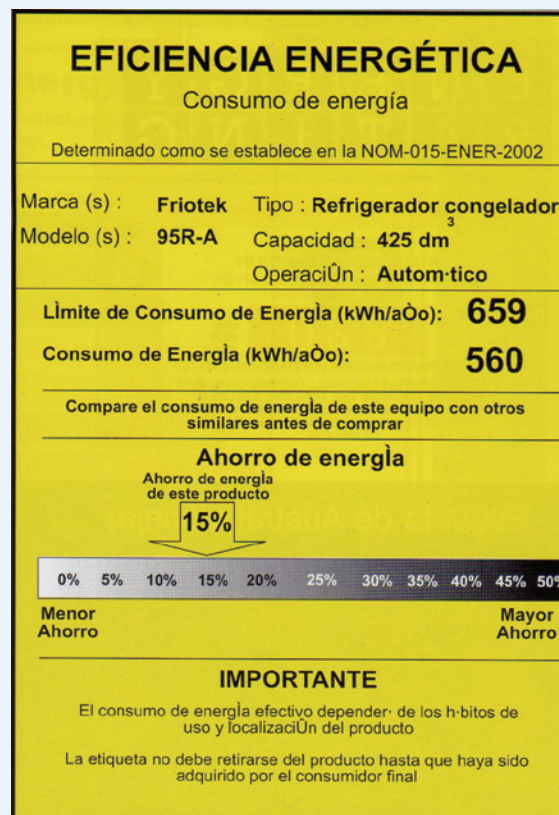
Se miden, asimismo, las temperaturas de la tubería de conducción de refrigerante en la succión y descarga del compresor. En los aparatos donde es posible hacerlo, se miden las presiones en ambos lados del compresor.

Además se miden el flujo de aire, la humedad y la temperatura del aire exterior que ingresan al serpentín del condensador. Se miden las temperaturas superficiales del serpentín del condensador, especialmente en aquellos equipos desprovistos de sus protecciones y que reciben exposición directa al sol.

Sin embargo, el consumo de electricidad de los acondicionadores de aire no sólo dependerá de sus eficiencias, sino también del tiempo que permanezca encendido; es decir, si se tiene un equipo muy eficiente, pero se utiliza 12 horas, podrá gastar tanta energía como uno menos eficiente que opere sólo 8 horas, para lo cual se requiere evaluar el nivel de infiltraciones en ambos casos y el criterio del dimensionamiento de los equipos.

Debido a que los compresores arrancan cuando la temperatura del ambiente es mayor a la deseada y paran cuando se alcanza, los acondicionadores de aire no funcionan el 100% del tiempo. Por lo general, un equipo correctamente seleccionado para cubrir la demanda térmica de un edificio o habitación, operará aproximadamente un 75% del tiempo que permanezca encendido, bajo un criterio de dimensionamiento adecuado. La Figura 5 muestra un ejemplo de etiqueta de consumo energético, la cual corresponde al 90% de la carga de enfriamiento máxima del espacio acondicionado evaluada, hora por hora, durante el periodo determinado que corresponde, normalmente un año.

Fig 5. Ejemplo de etiqueta de consumo energético



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

1.4 Tipos de compresores

Debido a la importancia en el consumo de energía del compresor, esta sección distingue los diferentes tipos de equipos que se encuentran en el mercado centroamericano.

1.4.1 Compresores reciprocantes

Son los menos eficientes aunque muy ruidosos, pero comparativamente de menor costo. Estos compresores consumen aproximadamente 1.3 kW/ton y tienen un CDR alrededor de 4.7. Debe existir un espacio entre la cabeza del pistón y las válvulas, por lo que hay una pequeña cantidad de refrigerante que se reexpande y le resta espacio al cilindro durante la aspiración del nuevo refrigerante. A esto se le conoce como eficiencia volumétrica del compresor. Los compresores reciprocantes pueden ser:

Reciprocantes abiertos: el motor y el compresor son dos partes separadas entre sí y se conectan con polea y fajas o directamente. Pueden desarmarse para reparaciones y, por lo general, no son prácticos en aplicaciones pequeñas, de 5 TR o menos (Fig 6).

Fig 6. Compresores abiertos



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Reciprocantes herméticos: el motor y el compresor están en una misma carcasa sellada. Son mucho más baratos que cualquier otro tipo de compresor, pero son los menos eficientes del mercado. Son prácticamente desechables al no desarmarse para repararse, sin embargo, se usan en todo tipo de aplicación (Fig 7)

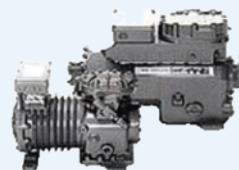
Fig 7. Compresores herméticos



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Reciprocantes semi-herméticos: el motor y el compresor están en una misma carcasa, pero poseen compuertas o piezas de acceso para realizar mantenimientos y reparaciones internas. Son mucho más costosos que los herméticos, pero con la ventaja de ser reparables y su uso es adecuado en el campo de la refrigeración industrial (Fig 8).

Fig 8. Compresores semi-herméticos



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

1.4.2 Compresores rotativos

Estos compresores son más eficientes y silenciosos y dada su construcción y funcionamiento, suelen ser de costo mayor. Los compresores rotativos pueden ser:

Rotativos tipo scroll o espiral: son bastante eficientes y silenciosos, pero de potencia limitada en aplicaciones de climatización. Su costo es mayor al recíprocante, ya que su relación de eficiencia energética EER es superior a 6 kbtu/kWh. Debido al movimiento circular continuo entre las dos piezas, no existe un espacio significativo que permita la reexpansión del refrigerante, por lo que la eficiencia volumétrica es mayor (Fig 9).

Rotativos tipo pistón rodante: son similares en relación de eficiencia energética a los tipo *scroll* y funcionan con un pistón que en lugar de tener movimiento alternativo, se mantiene girando descentrado con respecto al eje del motor (Fig 10).

Rotativos tipo tornillo: son de costo elevado y de alta eficiencia, tanto eléctrica como mecánica. Su aplicación es en grandes cargas de enfriamiento (entre 100 y 1.200 TR) y pueden operar con cargas parciales, lo que es muy conveniente cuando ésta varía significativamente; usualmente se encuentran en sistemas tipo *chiller*. Pueden ser muy ruidosos y consumen de 0,6 a 0,8 kW/ton y con un CDR alrededor de 4,7; ocupan poco espacio comparado con los recíprocantes, a una razón de casi un equipo de tornillo por dos o tres recíprocantes (Fig 11).

Centrífugos: son de alta eficiencia y muy silenciosos. Como no poseen muchas piezas móviles, su mantenimiento es mínimo, pero la inversión inicial es elevada. Preferentemente se usan en aplicaciones de 100 TR hasta más de 2.000 TR. Consumen de 0,6 a 0,75 kW/ton y un CDR alrededor de 4,8. Son tan compactos que un equipo ocupa casi tres veces menos espacio que un equipo de tornillo. El rotor y la carcasa no se tocan, por lo que se reduce el desgaste y el flujo del refrigerante es de forma continua (Fig 12).

Fig 9. Compresores scroll



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Fig 10. Compresores de pistón rodante



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Fig 11. Compresores de tornillo



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Fig 12. Compresor centrífugo



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

1.5 Otros componentes

Adicionalmente a los componentes principales, existen otros componentes que ayudan a operar y controlar el sistema completo; sin embargo, no todos pueden ser necesarios en equipos pequeños o en ciertas aplicaciones.

1.5.1 Termostato o control de temperatura

Es el dispositivo basado en un interruptor que cierra y abre el punto de contacto eléctrico sensible a los cambios de temperatura. Su función es apagar o encender automáticamente el compresor o algunos ventiladores del sistema de refrigeración, a fin de mantener el área climatizada en el rango deseado de temperatura (Fig 13), de estos termostatos existen desde el más sencillo, tipo mecánico, hasta otros digitales electrónicos programables.

Lo más importante para un buen uso del termostato es su ubicación. Si está en un lugar donde se recibe la radiación solar o existen equipos que generan calor como cafeteras o computadoras, el termostato no desconectará el equipo, ya que no detecta la temperatura real del espacio a climatizar.

El interruptor del ventilador puede accionarse de dos formas, la primera para que opere todo el tiempo que permanezca encendido el equipo y la segunda que pare unos minutos después de que el espacio alcance la temperatura deseada y luego encienda unos minutos después al existir una temperatura del espacio mayor a la ajustada. Esta segunda opción es la más adecuada para ahorrar energía en el ventilador y permite que el compresor encienda sin flujo de aire en el evaporador, reduciendo la carga y la potencia que requiere al momento de su arranque.

Se debe recordar que una oficina donde los empleados usan suéter o tienen frío no usa eficientemente el aire acondicionado. Las excepciones son los centros de cómputo o lugares donde se realizan actividades físicas fuertes, ya que las paredes y los equipos electro-mecánicos también generan calor (hornos y cocinas, salones de proyección, gimnasios de aeróbicos, etc.).

1.5.2 Termómetro

Estos instrumentos permiten medir la temperatura en una zona determinada (Fig 14). No es común disponer de un termómetro para monitorear las condiciones ambientales e internas de los edificios, pero es un instrumento que ayuda a racionalizar el uso de los sistemas y a determinar si el termostato está o no bien ajustado. Al realizar diagnósticos energéticos, es conveniente contar con un termómetro. Existen de varios tipos: de mercurio --similar a los clínicos-- de carátula, digitales, infrarrojos, etc.

Fig 13. Termostato



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Un aspecto de extrema importancia es el valor de ajuste de temperatura (setting) del equipo de acondicionador de aire.

Hay que procurar la condición máxima de temperatura de confort para ahorrar energía.

1.5.3 Ventiladores, turbinas y bombas

Los ventiladores y turbinas se encargan de impulsar y recircular el aire a través del condensador y evaporador; también, permiten distribuirlo en los espacios en los sistemas con ductos. Las bombas se encargan de recircular agua fría a los intercambiadores de calor de los equipos. Los motores-ventiladores y las bombas son similares entre sí, ya que dependiendo de la resistencia que encuentren en el aire o agua, así será la presión y la demanda de potencia que requerirán. Por lo tanto, estos equipos deben seleccionarse para mantener su mejor eficiencia en las condiciones normales de trabajo.

Dos motores iguales que trabajan con presiones y flujos de aire diferentes demandarán diferente consumo de energía. La limpieza y cuidado de los serpentines de los condensadores y evaporadores nuevamente es un factor de cuidado para los ahorros de energía en los acondicionadores de aire, ya que cualquier obstrucción implicará mayores consumos.

1.5.4 Filtros

Los filtros se encargan de limpiar el aire que ingresa o sale del equipo, y constituyen una obstrucción física necesaria para el flujo del aire inducido por el ventilador.

Sin embargo, un filtro sucio u obstruido no sólo ya no está realizando su función primordial, sino que además contribuye al desperdicio de energía y vuelve menos eficiente la operación de los demás componentes del sistema. Hay que observar si sale polvo o suciedad por las rejillas y difusores de aire, esto será un indicativo de que el mantenimiento no ha sido adecuado o de que el filtro ya cumplió su vida útil (Fig 15), en donde se puede apreciar la diferencia en la caída de presión que se experimenta al no cumplir con un adecuado programa de limpieza de filtros.

Una de las causas de falla en aparatos de aire acondicionado y excesos de consumo en motores-ventiladores es el mantenimiento inadecuado de los filtros. Nuevamente, el mantenimiento preventivo de limpieza es vital para un uso energéticamente eficiente de los equipos acondicionadores de aire.

1.5.5 Ductos

Estos elementos son tubos rectangulares o circulares de lámina u otro material donde el aire fluye y se reparte a varios puntos en las instalaciones físicas, aún cuando no todos los equipos acondicionadores de aire los requieren (Fig 16).

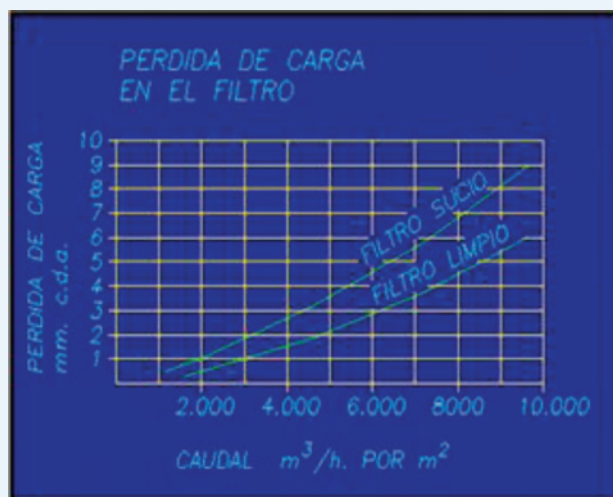
El ducto donde el aire del recinto se traslada hacia el evaporador se conoce como “de retorno”, mientras que el que lleva el aire ya enfriado en evaporador hacia los diferentes puntos del edificio se denomina “suministro”.

Fig 14. Termómetro electrónico



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

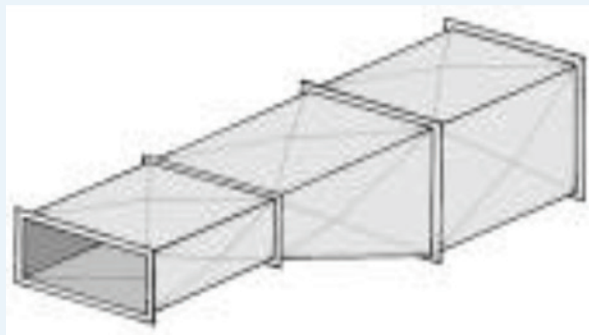
Fig 15. Pérdidas de presión en filtros sucios y limpios



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Un “anemómetro” (Fig 17) o medidor de la velocidad de aire, en m/min o pie/min nos permite cuantificar el caudal del aire (CFM) para determinar si el ducto mueve los volúmenes de aire adecuados; sin embargo, este equipo es relativamente caro y su uso requiere de análisis técnicos más detallados. En la práctica, basta notar algunos detalles básicos, como el hecho de que el espacio climatizado reciba aire por un ducto de suministro y lo evacue por una rejilla en la puerta o cielo falso mediante la colocación de una hoja de papel.

Fig 16. Ducto rectangular de lámina sencilla



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Si sólo existe entrada de aire, el aire ya acondicionado no regresa al serpentín del evaporador, el espacio será muy frío y la carga de enfriamiento muy elevada y no se sentirá confortable, además de tener un excesivo consumo de energía eléctrica. Si sólo hay salida (retorno), la temperatura no será adecuada y la presión aspirará aire y polvo hacia el espacio.

Los ductos se fabrican por personal calificado y con dimensiones especificadas por los diseñadores. Un mal diseño ocasionará gastos innecesarios de energía en el motor del ventilador del evaporador, puesto que tendrá mayores pérdidas de presión por fricción y filtraciones de aire frío que se pierden por fugas o roturas en la lámina o en las uniones.

Sin embargo, un ducto muy grande, con mínimo de pérdidas por fricción y bajo costo de operación, puede no ser rentable por su alto costo inicial. Por ello, se recomienda revisar la aplicación en el diseño de la ductería del método denominado la *relación de aspecto*, que tiene como regla general para ductos rectangulares, valores lo más bajos posibles, a fin de mantener las pérdidas de fricción lo más reducidas posible. Así, evitan un exceso de consumo de energía y, para valores más altos, la utilización de lámina metálica es mayor, por lo que la inversión es mayor.

1.5.6 Materiales aislantes

El uso racional de la energía destaca la importancia que adquieren los materiales aislantes térmicos en el ahorro de energía. Cada material aislante presenta ventajas y desventajas específicas. El análisis exhaustivo de estas características puede contribuir a lograr aplicaciones adecuadas y favorables en función del uso y de las características constructivas de los espacios a climatizar.

Los materiales aislantes no constituyen un equipo o componente propiamente dicho, pero reducen las pérdidas de energía frigorífica en las tuberías de las líneas de succión del refrigerante, en el evaporador y en los ductos (Fig 18).

Así, si el ducto pasa por el entre-cielo o cerca de equipos calientes como lámparas, el aislamiento se vuelve más crítico. Si el ducto se calienta, el aire de retorno o suministro también lo hace y se deberá operar el aparato por más tiempo y consumirá más energía. En el caso de las tuberías, normalmente se forra únicamente la que va del evaporador al compresor. Tubería escarchada o congelada puede encontrarse en equipos con aislantes defectuosos, pero también podría significar que le falte refrigerante al

Fig 17. Anemómetro para medir el flujo de aire en los ductos



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

equipo o que el evaporador esté sucio. En cualquiera de los casos, el sistema pierde eficiencia energética.

En los edificios, principalmente los techos, deben aislarse con estos mismos materiales para reducir el calor que penetra por el exterior debido al gradiente de temperatura que existe entre el espacio climatizado y el exterior. Cuando estos materiales están dañados, humedecidos o rotos, permiten fugas de calor al equipo y le restan capacidad y eficiencia. Además, se puede producir condensación de agua en las superficies metálicas frías de los aparatos y ocasionar goteras muy inconvenientes sobre los escritorios, losetas de cielo falso y otras zonas internas.

Fig 18. Rollo de fibra de vidrio para aislamiento de ductos o techos



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.



II. LA CARGA TÉRMICA DE ENFRIAMIENTO EN EDIFICIOS

El presente capítulo define la carga de enfriamiento, también generaliza sobre los métodos de cálculo y presenta la diferencia entre la carga de enfriamiento externa e interna.

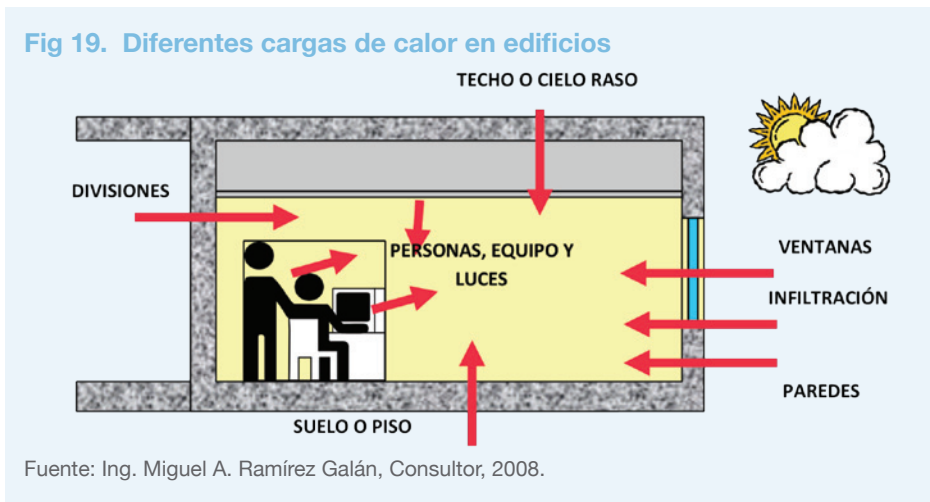
La carga de enfriamiento es la rapidez con la que la energía (en forma de calor) debe ser removida desde un espacio para mantener una temperatura interior constante y en condiciones estables. Para cubrir la demanda del valor máximo o pico de BTU/h para los días más calientes del año en una determinada zona geográfica, se utilizan los parámetros climáticos de la zona, la forma, la resistencia térmica del envolvente, la construcción y la orientación del edificio, los horarios de ocupación, el número de ocupantes, equipos instalados y el sistema de iluminación.

El retiro de calor es la rapidez con que el sistema acondicionador de aire retira energía (en forma de calor) desde un espacio hacia el exterior en función de la capacidad del equipo instalado. El criterio para el dimensionamiento de la capacidad de retiro de calor de los equipos acondicionadores de aire, corresponde al 90% de la carga de enfriamiento máxima del espacio acondicionado evaluada hora por hora, durante un periodo determinado que corresponde normalmente a un año.

Los edificios están expuestos a muchas fuentes de calor, algunas de origen interno, como las personas, y otras externas como la radiación solar. La latitud o la cercanía con respecto al ecuador ubican a Centroamérica en una zona tropical, por lo que el calentamiento externo por radiación solar es importante. Además, el clima centroamericano en general no tiene condiciones extremas de frío y calor, por lo que no se usa la calefacción. La altitud sobre el nivel del mar, en la costa o en lo alto de colinas o montañas, también afecta la temperatura ambiente y la humedad de la zona. La evaluación de las oportunidades de reducción de la carga de enfriamiento permite dimensionar correctamente la capacidad de los equipos de climatización, para que en caso de sustitución, se seleccione uno de menor potencia y costo optimizando su periodo de operación.

Se define como ganancia de calor, la rapidez con que la energía penetra de manera instantánea en un espacio. El cálculo detallado de la carga de enfriamiento de un edificio es un proceso complejo, el cual requiere conocer los mecanismos de transferencia de energía y determinar las ganancias de calor a través de su envolvente, así como del interior del mismo.

Como se observa en la Figura 19, existen fuentes de calor externas e internas que determinan las condiciones del ambiente interno que se desea acondicionar.



2.1 Fuentes de calor externas

La principal fuente primaria de energía calorífica externa es la radiación solar que penetra a través de techos, muros, ventanas y puertas. Esta fuente depende de la hora del día y de la presencia o no de sombras externas producidas por otros edificios, árboles o estructuras de la construcción como techos salientes, aleros y aletas; así como de la orientación de las paredes y la latitud (qué tan cerca o lejos se está del ecuador).

En Centroamérica, las paredes este y oeste reciben mucha intensidad solar y la sur está expuesta la mayor parte del tiempo. Reducir el número de ventanas o usar cortinas, pintar de blanco las paredes expuestas o instalar aleros o techos, son disposiciones de tipo arquitectónico que reducen la carga calórica externa. Las ventanas y tragaluces transparentes serán siempre críticos y se puede optar por polarizarlos.

Las características constructivas de los espacios climatizados producen diferentes respuestas a la absorción de calor por la envolvente, ya que un muro o techo de ladrillo o concreto con baja resistencia térmica almacena energía en mayor cantidad que un material menos denso. Una parte de dicha energía deberá removerla el sistema acondicionador de aire, fenómeno que se conoce como “inercia térmica”, por lo que la aplicación de materiales aislantes en muros y techos modifica la respuesta del sistema en lo referente a la carga de enfriamiento.

De tal forma, cuanto más gruesas sean las paredes, más tardan en calentarse y de esta manera, de menor dimensión podrá ser el equipo necesario para mantener la temperatura de *confort* requerida.

Al buscar oportunidades de mejora de eficiencia energética en los edificios, hay que buscar primero aquellas medidas que se pueden implementar fácilmente y de preferencia de bajo costo. La reducción de la carga térmica puede realizarse con una mínima inversión, cubriendo ventanas o colocando aleros y techos frente a las ventanas.

Aplicar un aislamiento al techo es muy recomendable, pero constituye un costo inicial considerable. Generalmente la respuesta depende del costo del aislante y el tiempo en que se recupera la inversión, para lo cual debe hacerse previamente un análisis costo-beneficio de la medida por implementar.

2.1.1 Otras fuentes de calor externas: infiltración y /o ventilación

A veces hay aire ambiente exterior “caliente” que entra al edificio, ya sea por rendijas en puertas o ventanas (infiltración) o por necesidad de aire fresco (ventilación). Dependiendo del número de puertas y ventanas o del tráfico de personas que entra y sale del local, esta carga externa puede o no ser significativa para la térmica total del edificio o ambiente. Localizar y eliminar las fuentes de fuga de aire acondicionado por infiltración es muy importante, ya que permite reducir el consumo energético del equipo.

La cantidad de aire exterior de ventilación que se admite se debe básicamente a razones sanitarias y de *confort*, a pesar de que el calor sensible y la humedad de este aire sea mayor que el de los espacios acondicionados. Un ambiente cerrado, sin intercambios con el aire exterior, se tornará peligroso por la carencia de algunos compuestos y el exceso de otros.

Los intercambios y renovación de aire interior deben ser constantes ya que, en caso de no hacerlo, las concentraciones de aire viciado serán la principal causa del “*síndrome del edificio enfermo*”, que se traduce en alergias, problemas respiratorios, resfriados, náuseas, irritaciones y dolores de cabeza para sus ocupantes.

Los requerimientos mínimos de ventilación recomendados para los usos comunes se determinan de acuerdo con los valores de la siguiente Tabla:

Tabla 3. Requerimientos mínimos de ventilación

USO	PERSONAS ESTIMADAS POR 100 FT ² DE PISO ⁸	CFM MÍNIMOS DE AIRE DE VENTILACIÓN POR PERSONA	CFM RECOMENDADOS DE AIRE DE VENTILACIÓN POR PERSONA
Residencial	5	5	7-10
Oficinas	10	15	15-25
Sala de Juntas y Oficinas	60	25	30-40
Comerciales	30	7	10-15
Hoteles	5	7	10-15
Salones de Belleza	50	25	30-35
Peluquerías	25	7	10-15
Auditorios	70	15	20-25
Escuelas	50	10	10-15
Gimnasios	70	20	25-30
Bibliotecas	20	7	10-12
Hospitales	15	10	15-20
Teatros	150	10	10-20
Estacionamientos	-	1.5	2.0-3.0
Cafeterías	100	30	35

Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

8 IFT² de piso equivale a 0.09290 m²

2.2 Fuentes de calor internas

Son las fuentes de calor que se originan a partir de la iluminación interna, los equipos electro-mecánicos y las personas en el interior de los edificios; por lo que están sujetas a los horarios de permanencia y uso, más que a las condiciones climáticas predominantes. La importancia de cada fuente interna depende del tipo de uso del edificio o instalación física y la cantidad de cargas individuales similares que existan.

La presencia de equipos de alta temperatura, como hornos, transmite calor por radiación, lo cual puede ser significativo al calcular la carga térmica de enfriamiento. En algunos casos, las cargas internas llegan a ser más importantes en el estudio de la carga general del edificio, que las generadas por la radiación solar u otras fuentes.

El cálculo de la carga térmica es un proceso que requiere recolectar datos físicos de los edificios: las dimensiones de la construcción y los materiales usados, los horarios del personal y la cantidad de equipos emisores de calor, luces y personas. La Tabla 4 permite realizar una estimación aproximada de la capacidad de un espacio, utilizando unos cálculos sencillos durante un diagnóstico energético.

Estos cálculos, sin embargo, no reemplazan un estudio de carga detallado por un profesional calificado y deben utilizarse más como una referencia inicial y no como un valor exacto para el diseño del equipo acondicionador de aire.

Tabla 4. Cálculo carga enfriamiento en TR estimada (mínima o máxima)

Aplicación del método en:	Dividir m^2 área de piso entre m^2 / TR
	Mínima – Máxima
Edificios grandes de oficinas (exterior)	25,6 - 20,9
Edificios grandes de oficinas (interior)	32,5 - 27,9
Residencia	65,0 - 46,5
Tiendas de departamentos	23,2 - 18,6

Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

III. LOS EQUIPOS ACONDICIONADORES DE AIRE

Este capítulo describe los diferentes tipos de acondicionadores de aire, así como una explicación de las nuevas tecnologías para el ahorro de energía en la adquisición de este tipo de equipos electro-mecánicos.

3.1 Tipos de equipos

En esta sección se describen los distintos equipos Acondicionadores de Aire que se pueden identificar en el mercado, aplicables para diferentes sectores de consumo en Centroamérica. Los principales tipos de equipos acondicionadores de aire que se utilizan son:

Los principales tipos de equipos acondicionadores de aire que se utilizan en el mercado centroamericano son:

1. Ventana o RAC (*Room Air Conditioning*).
2. Central.
3. *Mini-split*.
4. Paquete.
5. Enfriadores de líquido (*chiller*).

3.1.1 Equipos de ventana

Cuando se requiere acondicionar un espacio relativamente pequeño, por lo general habitaciones individuales, se utilizan los equipos tipo ventana que, como su nombre lo indica, son unidades que se colocan en el marco de una ventana o acondicionando una abertura en la pared, en el que se coloca el equipo (Fig 20).

La descarga del ventilador inyecta el aire frío directamente a la habitación sin necesidad de instalar ductos. Una placa metálica interna separa la sección del retorno e inyección de aire, donde se encuentra el serpentín del evaporador, del compartimiento que da al exterior, y donde se localizan el condensador y el compresor.

Estos equipos incluyen de fábrica su carga de refrigerante y los componentes individuales han sido probados en conjunto para garantizar su operación adecuada. Los hay sencillos, de eficiencia estándar y ruidosos, así como silenciosos de alta eficiencia, dependiendo de las características del compresor.

Algunos poseen dispositivos especiales como termostato a control remoto, motor de múltiples velocidades con o sin ventilación externa, temporizador para apagar y encender, filtros electrostáticos para el polvo y tratamientos antibacteriales a fin de reducir el crecimiento de hongos o bacterias que puedan causar enfermedades respiratorias. Como ya están armados y listos para usar, requieren de instalaciones eléctricas más sencillas y usualmente incluyen un enchufe con ese fin.

Fig 20. Equipo de ventana



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Su mantenimiento es muy sencillo y su costo es uno de los más bajos en el mercado, pero son menos eficientes comparados con otros equipos, sobre todo cuando operan a carga parcial, además, resultan poco rentables en aplicaciones con muchos cuartos independientes o en espacios grandes.

Debe procurarse que los equipos de ventana posean compresores rotativos de alta eficiencia. Cuando el clima lo permita, es mejor operarlos sólo como ventiladores (FAN) y no colocar el termostato al mínimo. El mayor consumo de energía lo alcanzan con el ventilador a su máxima velocidad y con el compresor encendido.

Se fabrican en capacidades que van de valores menores a 1 tonelada de refrigeración hasta 2, siendo las más frecuentes los de 1 y 1,5 toneladas y se diseñan para una vida útil máxima de 11 años.

3.1.2 Equipos centrales

Estos equipos se utilizan cuando los espacios por acondicionar pueden estar separados por divisiones altas o cuando la distribución del aire de suministro es importante. Se caracterizan por poseer una unidad condensadora, compuesta por el compresor y el condensador, que puede instalarse en el exterior del edificio y lo suficientemente alejada como para que el ruido no afecte a los ocupantes. Esto también facilita su mantenimiento.

El evaporador es una unidad separada que suele instalarse en los “entrecielos” o en cuartos destinados con esa finalidad. Como se compran como unidades separadas, la conexión entre equipos requiere también la conexión por tubería para el llenado y paso del refrigerante, el aislamiento de ésta y los soportes. El aire de suministro se transporta por medio de un sistema de ductería, lo cual implica costos adicionales en material, mano de obra y mantenimiento, pero permite distribuir el aire a varios lugares simultáneamente con el mismo equipo. (Fig 21)

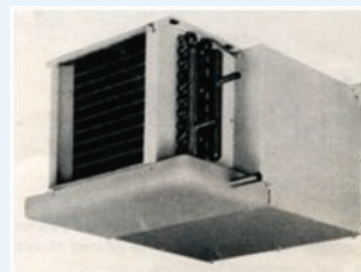
Estos equipos también pueden ser de eficiencia estándar o alta, dependiendo de si el compresor es recíprocante o rotativo y si los motores del condensador y evaporador también son de alta eficiencia. Configuraciones especiales de estos sistemas se conocen como “multi-zona”, donde el ducto o las salidas de aire poseen dispositivos de control de flujo para mantener las temperaturas, según la demanda del lugar. Este tipo de equipos permite más ahorro por el uso eficiente de energía; sin embargo, en el contexto centroamericano no se vuelve rentable para aplicaciones pequeñas.

3.1.3 Equipos *mini-split* y *multi-split*

Estos equipos también tienen separados el evaporador o evaporadores y la unidad condensadora, por lo que poseen muchas de las ventajas de los sistemas centrales, pero tienen la característica de no requerir ductos y la descarga de aire de suministro se hace directamente desde el evaporador. Muchos modelos también incluyen características especiales para viviendas y pequeñas oficinas, similares a los de ventana, y son electrodomésticos de demanda comercial que se pueden comprar en ferreterías y almacenes comerciales (Fig 22).

Sin embargo, poseen limitaciones con la distancia de separación entre las unidades (no más de 15 metros), hay modelos que pueden manejar dos o tres evaporadores con una unidad condensadora. Su instalación es relativamente sencilla por no requerir ductos, pero es necesaria mano de obra calificada

Fig 21. Unidad evaporadora de un equipo central típico



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

para el montaje de las tuberías y el llenado del refrigerante. Son muy populares en instalaciones residenciales, comerciales y hoteleras.

Los principios termodinámicos y físicos en los que se basan los equipos *split* son los mismos de los otros modelos y su diferencia estriba en que la unidad condensadora y el compresor se instalan separadamente del ventilador del evaporador y serpentín evaporador, estando el compresor, el ventilador del condensador y el serpentín de condensación contenidos en lo que se denomina la unidad condensadora.

3.1.4 Equipos paquete

Se conoce con esta denominación a los equipos en los cuales todo el sistema se encuentra contenido en el mismo gabinete, desde donde se inyecta el aire frío hacia los ductos que lo distribuyen en los espacios acondicionados (Fig 23).

El aire de recirculación es succionado a través de un ducto de mayor área transversal desde donde se hace pasar nuevamente a través del serpentín evaporador. Así, su gasto volumétrico es equivalente al total menos el aire de ventilación que se agrega en las compuertas que se tienen para tal efecto.

Normalmente en los equipos tipo paquete los serpentines se encuentran separados por una placa metálica, de forma que el evaporador queda aislado del serpentín de condensación y de la unidad de compresión. Son muy eficientes en comparación con los centrales, cuentan con tuberías y cargas de gas refrigerante hechas en fábrica, bajo controles más estrictos de seguridad y calidad, y los componentes han sido probados previamente para garantizar que operan bien juntos en forma óptima.

También dependen del tipo de compresor para maximizar eficiencias de su operación, pero por lo general, son buenas opciones de compra en cuanto a costo y mantenimiento en aplicaciones de 5 TR hasta 30 TR. Para manejar cargas parciales, los grandes paquetes pueden tener varios compresores semiherméticos o herméticos o disponer de válvulas reguladoras de capacidad.

3.1.5 Equipos enfriadores de líquido o “chillers”

Cuando se requiere mayor eficiencia energética, los enfriadores de agua son generalmente los mejores equipos acondicionadores. La limitante es que se aplican sólo para cargas de medianas a grandes, de forma que la inversión realizada se vuelva financieramente rentable.

Fig 22. Equipo mini-split



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Fig 23. Equipos tipo paquete



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

El líquido que usualmente se enfría es agua, pero también se pueden enfriar otros líquidos o salmueras (soluciones de agua con alguna sal que mejore sus propiedades termodinámicas, como el glicol).

El agua se enfría en un evaporador especial conocido como el *cooler* o enfriador tipo casco, que es similar en construcción a una caldera pequeña. El agua fría se bombea a las tuberías que la distribuyen a intercambiadores de calor en los puntos donde se requiere enfriar. A estos intercambiadores se les conoce como unidades *fancoil* (ventilador y serpentín).

Los *chillers* pueden tener compresores reciprocantes, de tornillo o centrífugos, pero también existen otras tecnologías que no requieren ninguno de estos tipos y son excelentes a carga parcial (Fig 24).

Fig 24. Equipos enfriadores de líquidos (*chillers*).



Chiller de compresor centrífugo

Chiller de compresores tipo tornillo

Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

Algunos modelos pueden tener gamas de variaciones de 33%, 67% y 100% en cada compresor, por lo que unidades de múltiples compresores pueden aumentar la variabilidad de cargas aún más y permitir mayores eficiencias en cargas parciales a lo largo del día y la noche.

La selección de un equipo generador de agua helada que cumpla con la capacidad de enfriamiento a plena carga no es siempre la mejor solución, ya que la capacidad máxima requerida puede ocurrir sólo pocas horas al año; sin embargo, el *chiller* opera miles de horas al año a cargas parciales, por lo que un diseño óptimo de un generador de agua helada requiere definir el comportamiento del perfil de carga térmica durante todo el año, de manera que el equipo idóneo que debe seleccionarse es el que cumpla al máximo con ese perfil de carga.

Los generadores de agua helada operan más eficientemente con una menor temperatura de agua de condensación y la mayoría están diseñados para trabajar a condiciones ARI de 78°F de bulbo húmedo, con el agua saliendo de la torre de enfriamiento a 85°F, que corresponde a las condiciones de prueba y no de operación, por lo que una reducción en estas temperaturas conlleva en una reducción en el consumo de energía eléctrica.

Para llevar a cabo la verificación en la instalación y selección de los equipos generadores de agua helada instalados, se recomienda consultar la norma de ARI (ARI/STÁNDAR 550/590), en la cual se contempla el cálculo de la relación de eficiencia energética EER a cargas parciales. Lo anterior indica que la eficiencia a cargas parciales se determina de la siguiente forma:

IPLV = 0.01 A + 0.42 B + 0.45 C + 0.12 D, en donde:

IPLV: Valor Integrado a cargas parciales.

A = es la relación de eficiencia energética al 100% de la capacidad del equipo.

B = es la relación de eficiencia energética al 75% de la capacidad del equipo.

C = es la relación de eficiencia energética al 50% de la capacidad del equipo.

D = es la relación de eficiencia energética al 25% de la capacidad del equipo.

El condensador de los *chillers* puede ser enfriado por aire, similar a los condensadores de los equipos convencionales ya enunciados, o por agua. Los condensadores enfriados por agua tienen la característica de ser un medio más eficiente de extraer el calor del refrigerante y permiten trabajar con presiones más bajas. Esto permite un CDR y EER mayores a que si el mismo equipo fuera enfriado por aire. Sin embargo, las condiciones del agua deben ser tratadas para reducir la corrosión y evitar que se formen incrustaciones minerales, algas y colonias bacteriológicas, por lo que hay que considerar si los costos energéticos ahorrados se compensan con los tratamientos químicos necesarios para el agua.

Los componentes adicionales que debe contar un *chiller* son:

- Sistema de tuberías adecuadas y diseñadas para no producir caídas de presión excesivas. Se debe verificar si la tubería presenta fugas, vibraciones, trayectos largos y accesorios innecesarios.
- Una o más bombas de agua para impulsar el líquido dentro del *chiller* y luego a los diferentes puntos de uso. El motor de la bomba debe ser de alta eficiencia y mantener los parámetros de presión y caudal necesarios para que opere normalmente. La tubería deberá contar con un manómetro para evaluar la presión, pero el medidor de caudal es de alto costo y usualmente no se cuenta con ese dato.
- Unidades *fan-coil* de distribución de aire (Fig 25). Igual que en los evaporadores, su motor debe ser de alta eficiencia y limpiarse mensualmente. En aplicaciones industriales, los *chillers* se pueden emplear para enfriar máquinas o motores, por lo que no existirán *fan-coil* instalados.
- Válvulas y equipos de control de flujo, para cerrar o restringir el paso del agua.

Fig 25. Unidad fan-coil



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

3.2 Otras tecnologías en sistemas acondicionadores de aire

Diversas tecnologías de enfriamiento se conocen desde hace varias décadas, pero no todas se utilizan comercialmente en Centroamérica; unas por su elevado costo de inversión inicial, otras por no existir mano de obra calificada para su operación y mantenimiento. Muchas otras se están desarrollando en su fase experimental y aún no son económicamente rentables para su aplicación a gran escala, tales como:

1. Enfriamiento por absorción.
2. Almacenamiento térmico o bancos de hielo.
3. Humidificación del aire.
4. Desecantes.
5. Enfriamiento solar.

3.2.1 Enfriamiento por absorción

Los ciclos de absorción se basan físicamente en la capacidad que tienen algunas sustancias, tales como la mezcla del agua y algunas sales, como el bromuro de litio, para absorber en su fase líquida, vapores de la mezcla de otras sustancias tales como el amoníaco y el agua, respectivamente (Fig 26).

Las primeras aplicaciones industriales de los principios termodinámicos de la absorción datan de los años 1930s, pero en Centroamérica es prácticamente nulo su uso. El CDR es bajo, cercano a 1,0 y en sus versiones más eficientes, es casi de 2.

La ventaja es que esta tecnología utiliza calor como fuente de energía y no necesariamente electricidad, lo que reduce el tamaño de las subestaciones de energía (y su costo) y la potencia máxima, con lo que se logran otros ahorros indirectos al proyecto total y no sólo los costos asociados al sistema acondicionador de aire.

Algunas ventajas de los sistemas acondicionadores de aire por absorción son:

- Son silenciosos y están sujetos a un desgaste limitado debido a que la única parte móvil es la bomba de solución. En comparación con los sistemas mecánicos de compresión tradicionales de la misma capacidad, la máquina, la bomba, el motor o la turbina son pequeños.
- Cuando el sistema de absorción se diseña para operar con vapor de agua con presión alta o baja, se pueden utilizar descargas residuales de otros equipos. El sistema no tiene necesidad de depender de la energía eléctrica para operar los motores de la bomba.
- La tendencia en la industria hotelera es la instalación de motores de combustión interna para la generación de energía eléctrica, equipados con calderas de recuperación de calor, que generan el vapor para los sistemas acondicionadores de aire por absorción, lo que permite reducir considerablemente los costos asociados al consumo de electricidad e hidrocarburos.

Fig 26. Chiller de absorción



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

- Aún y cuando los sistemas de absorción requieren de mayor espacio, se pueden localizar en las partes exteriores en arreglos verticales para reducir el espacio físico requerido.
- Solamente existe una limitada disminución de capacidad de las unidades por absorción cuando la temperatura y presión del evaporador disminuyen. Esto puede compensarse al aumentar la presión del vapor de agua que se envía al generador. Por contraste, la capacidad del sistema de compresión se reduce notablemente cuando la presión del evaporador disminuye.
- Los sistemas acondicionadores de aire por absorción son tan eficientes a cargas reducidas como a su capacidad total. La cantidad de solución circulada y el vapor de agua suministrado al generador se pueden cambiar para satisfacer diferentes condiciones de carga.⁹

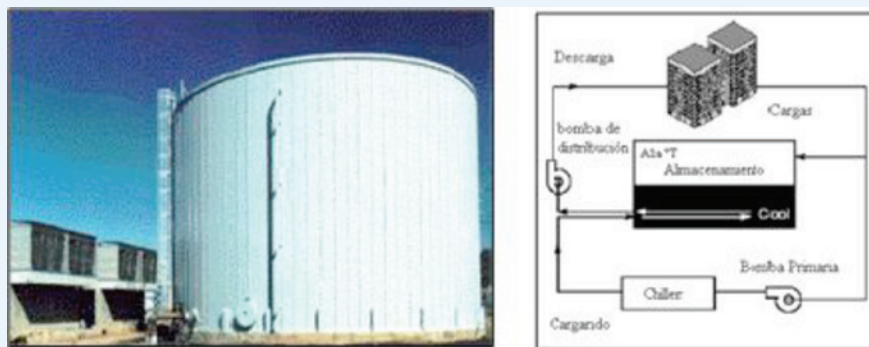
3.2.2 Almacenamiento térmico (o cuartos de hielo)

El costo promedio de la energía eléctrica en las instalaciones que utilizan sistemas acondicionadores de aire es muy alto, debido a que la demanda de climatización de los espacios acondicionados se presenta normalmente cuando la temperatura exterior es alta, por lo que la programación del encendido de estos equipos no sobrepasa un número determinado de horas al día. Esto ocasiona que el factor de carga sea bajo y, por ende, el costo promedio de la energía eléctrica es alto. Otra alternativa comercial pero poco desarrollada, son los sistemas de almacenamiento de energía frigorífica, los cuales permiten la utilización de sistemas de compresión de menor capacidad que trabajan durante todo el día y cubren en su totalidad el perfil de carga de refrigeración de la instalación.

El almacenamiento térmico, o cuartos de hielo, consiste en enfriar agua o fabricar hielo en las horas de costo bajo de electricidad y luego usar el “frío” en el día, descargándose como una batería (Fig 27). Su utilización es mínima en Centroamérica porque se vuelve rentable en aplicaciones grandes, de 1.000 TR¹⁰.

3.2.3 Humidificación del aire

Fig 27. Almacenamiento térmico, en el cual puede emplearse agua o hielo



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

9 Más información en: <http://rcl.eng.ohio-state.edu/~christ-r/ceat/theory/theory.html> y en la página de fabricante de equipos de absorción: <http://www.yazakienergy.com/>.

10 En www.baltaircoil.com/english/index.html y www.calmac.com puede obtener información adicional de las ventajas de los sistemas de almacenamiento térmico.

Es el método más económico de enfriamiento de aire y consiste en el enfriamiento que experimenta la mezcla de aire-vapor de agua al ponerse en contacto con agua, para lo cual una corriente de aire con bajo contenido de humedad y cuya temperatura (denominada de bulbo seco) es mayor que la de la corriente de agua líquida. De tal forma, al ponerse en contacto directo con pequeñas gotitas del líquido, evaporarán parte del agua haciendo que el contenido de humedad del aire se incremente y disminuya su temperatura. Las unidades que utilizan esta tecnología se conocen como las Unidades de Enfriamiento Evaporativo (UEE) y su parámetro de selección y comercialización es la capacidad de movimiento de aire que poseen, medido generalmente en pies cúbicos por minuto (PCM).

En la práctica, las UEE se utilizan en zonas de climas secos, donde la humedad relativa es baja. En la región centroamericana, la humedad relativa es bastante alta, 75% o más, por lo que no son prácticas; sin embargo, hay regiones en el mundo que utilizan este sistema para enfriar ganado en épocas cálidas.

3.2.4 Desecantes

Es una técnica de refrigeración opuesta a la humidificación que consiste en deshidratar el aire que se utilizará para acondicionar el edificio y luego mezclarlo con el aire interior, donde la humedad promedio del aire baja y se produce un efecto de enfriamiento¹¹.

3.2.5 Enfriamiento solar

El enfriamiento solar se refiere a los sistemas de enfriamiento tipo absorción o desecantes, que utilizan la energía del sol para calentar agua o regenerar procesos. Se usan en combinación con otros sistemas de energía térmica, como generadores o calderas, reduciendo el gasto de combustible al precalentar el agua.¹²

3.2.6 Método alternativo para acondicionar los edificios

Aunque no lo parezca, la forma más barata de producir un ambiente agradable en zonas pequeñas es por medio de la ventilación. Esto se refiere al uso de ventiladores de techo o pared para crear un mayor movimiento del aire en las zonas del edificio.

La temperatura ambiente no se altera, pero el movimiento del aire produce en el ser humano la sensación de frescura. Si se combina un ventilador con un sistema acondicionador de aire, se puede elevar la temperatura del aire a 28°C y el movimiento del aire del ventilador hará sentir más agradable el lugar.

Para usar eficientemente los ventiladores de techo o pared, hay que tomar en cuenta que su uso debe estar ligado con la permanencia de las personas o la operación de equipo generador de calor. Si no hay a quien refrescar, el movimiento del aire en ese periodo será solamente otro gasto innecesario de energía eléctrica.

11 Ver www.eere.energy.gov/buildings/info/components/hvac/cooling/desiccant.html para más información de esta tecnología.

12 En las páginas web www.ailr.com/solar_cooling.htm, www.eere.energy.gov/RE/solar_hotwater.html puede encontrarse información adicional.

IV. BUENAS PRÁCTICAS EN EL USO DE LOS ACONDICIONADORES DE AIRE

En este capítulo se describen las buenas prácticas para el adecuado uso y mantenimiento de los equipos acondicionadores de aire. Esto asegurará no solo una mayor vida útil, sino también un mejor aprovechamiento y menores costos de operación.

Los principios generales para ahorrar energía eléctrica en los diferentes usos de los acondicionadores de aire son:

Operación: Operar correcta y eficientemente los equipos a las temperaturas adecuadas para el uso requerido, ajustando el termostato, procurando la máxima temperatura permitida.

Mantenimiento: Dar mantenimiento adecuado que incluya limpieza -cada mes a los filtros- y -cada tres meses- al evaporador. En caso de reparaciones, comprar repuestos originales y de buena calidad, lo que garantiza que los equipos electro-mecánicos operen eficientemente.

Medidas de bajo costo: Reducir la carga de los edificios al minimizar el impacto de las diversas fuentes de calor externas o internas como son cortinas, colores frescos o plantas ornamentales, entre otras medidas.

Nueva cultura energética: Cambiar los equipos obsoletos por equipos modernos, al menos, con un EER de lo 11, utilizando tecnologías más eficientes que ahorren el consumo de electricidad (kWh) y reduzcan la demanda máxima de las instalaciones (kW).

En forma más específica y asumiendo que los equipos han sido seleccionados racionalmente de acuerdo con la carga de enfriamiento del ambiente por climatizar, sin sobredimensionarlo ni colocando uno de menor capacidad a la requerida, y que la instalación ha sido realizada por personal calificado, a continuación se presentan una lista de recomendaciones prácticas, que se pueden aplicar, según sea el uso final requerido y el contexto físico de su desempeño:

1. Realizar el mantenimiento periódico que garantice que el serpentín y los filtros se encuentran limpios y libres de obstrucción, a fin de reducir la potencia máxima del ventilador. Generalmente esto se realiza mensualmente (quincenal si el espacio acondicionado son cocinas o lugares con un alto nivel de contaminantes o ambiente aceitoso).
2. Las rutinas de mantenimiento deben incluir una verificación semestral de la presión del refrigerante y la búsqueda de fugas al menos una vez al mes, o en cada visita del personal de mantenimiento. Un equipo con menor carga de refrigerante será menos eficiente y tenderá a congelar el serpentín. La presión se puede medir semestralmente.
3. En los motores-ventiladores debe revisarse periódicamente el amperaje consumido y el desgaste de los baleros. Una variación puede ser señal de deterioro y el motor consumirá más de lo normal al sobrecalentarse.
4. En caso de cambiar el motor por daños, adquirir otro de mayor eficiencia, ya que consume menos energía y proporciona la misma potencia.
5. Verificar que las fajas estén en buen estado, no flojas o muy apretadas. Si éstas vibran o saltan al girar, es que les falta tensión; si el motor se frena, es que están apretadas. En la mayoría de los casos, el equipo estará cerrado y no se podrá verificar esto, así que compete más verificar

con los encargados de mantenimiento los procedimientos y la frecuencia con que revisan los equipos y cumplen con las especificaciones técnicas en sus rutinas.

6. El consumo de energía (kWh) dependerá de varios factores: las horas de uso, el tamaño del equipo, la eficiencia y las buenas condiciones de sus componentes. A mayor uso, más consumo en kWh; cuanto más grande el equipo, más potencia en kW demanda. Si hay mayor eficiencia, bajarán tanto el consumo en kWh como la potencia.
7. Al comprar un equipo nuevo o reemplazar un compresor, es preferible buscar uno más eficiente. Los fabricados antes de 1985 tienen eficiencias muy bajas y un EER cercano a 4; mientras que los producidos después de 1985 serán de EER cercano a 8,5 y los del 2000 cercano a 10, por lo que se recomienda buscar la etiqueta de eficiencia energética según la norma del país, o en su defecto, el sello Energy Star que identifica a los equipos eficientes en el mercado internacional (Fig 28).
8. Los equipos reciprocantes son de bajo costo inicial, pero su consumo energético por operación es alto.
9. Generalmente un equipo bien diseñado y operando normalmente estará funcionando de un 70% a 75% del tiempo.
10. Un equipo más grande no es necesariamente mejor. Un compresor o equipo sobredimensionado requiere una inversión inicial mayor, demandará una potencia alta en el arranque y solo operará un 50% o menos del tiempo, por lo que el aire no será deshumidificado correctamente y no necesariamente se sentirá confortable.
11. Se debe procurar utilizar la mayor temperatura de *confort* posible, pues un espacio físico habitado de personas con frío no es más que un desperdicio de energía.
12. Cuando se dispone de una carga de enfriamiento elevada, por lo general será preferible disponer de un sistema centralizado y no de muchos equipos pequeños operando en forma independiente.
13. La potencia del compresor dependerá de la presión y temperatura de descarga: a mayor presión, mayor potencia.
14. Es más eficiente que el compresor arranque poco y se mantenga encendido más tiempo, a que pare y arranque muy seguido (ciclado).
15. La presión alta del compresor dependerá de la temperatura que requiera el condensador para enfriar el refrigerante, por lo que a mayor temperatura ambiente, mayor consumo de potencia. No se puede cambiar el ambiente, pero sí se puede mantener limpio el condensador, en un lugar ventilado y fresco y el ventilador en buen estado, sin obstrucciones y de preferencia ubicado en un espacio con sombra.

Fig 28. Programa "Energy Star"



Fuente: Ing. Miguel A. Ramírez Galán, Consultor, 2008.

16. Los aislantes de tubería rotos sobrecalientan el refrigerante, aumentan la potencia del motor y bajan la eficiencia del CDR. Esto es igualmente válido para los ductos de aire de suministro en cielos falsos o en el exterior.
17. Si es posible, hay que abrir las ventanas y utilizar ventiladores empotrados o portátiles en lugar de acondicionadores de aire. Hay equipos de ventana que poseen esta opción de ventilación sin enfriamiento.
18. Se debe usar un ventilador para distribuir el aire fresco por los ambientes internos cuando el acondicionador de aire esté encendido.
19. Es recomendable no poner una lámpara, cafetera, computadora o televisor cerca del termostato del acondicionador de aire. El calor de estos aparatos hace que el equipo funcione por más tiempo.
20. Hay que usar termostatos programables con el acondicionador de aire para regular la temperatura en los horarios donde hay poco personal, en lugar de apagar por completo el equipo. En áreas grandes, los equipos que se apagan al medio día necesitarán esforzarse mucho para volver a enfriar la zona al reingresar todo el personal.
21. Si la carga térmica es elevada, se deben buscar medidas que reduzcan los efectos de las cargas principales de calor, tanto internas como externas.
22. Con menos carga térmica en el edificio, más pequeño y económico es el equipo que se debe comprar, ahorrando en la inversión inicial, en los costos de operación, así como en los costos de mantenimiento.
23. Las ventanas deben ser pequeñas en las paredes sur, este y oeste con exposición al sol y de preferencia con sombras externas como aleros o elementos internos como cortinas y persianas.
24. El uso de vidrios aislantes, vidrios dobles, etc. evita que el calor ingrese al medio día, pero puede también evitar que salga en la noche. En los climas muy fríos, esta práctica es muy útil.
25. Reducir el uso de tragaluces en lugares donde la ventilación no es muy buena y lo permita el uso del recinto.
26. Polarizar los vidrios, especialmente en ventanas orientadas al sur.
27. Las cargas solares en las paredes al sur y oeste pueden reducirse al plantar árboles frondosos (se reducen entre 4 y 6° C por la sombra que proporcionan).
28. En Centroamérica, el aislamiento de paredes no es muy usual -pero el aislamiento del techo o el cielo falso por medio de espumas de poliuretano, pinturas especiales reflectivas y aislantes, o el uso de fibra de vidrio en los entretecielos- son las mejores formas de reducir la carga térmica de cualquier edificio, bodega, local, etc.
29. Es conveniente reducir las infiltraciones del exterior –como mantener cerradas ventanas, colocar un brazo cierra-puerta automático o mantener puertas cerradas– son guías a implementar. También se pueden instalar empaques en las partes inferiores de las puertas para reducir el aire interior que escapa.

30. De las cargas internas, las luces y las personas son las más importantes. No se puede reducir el número de empleados para ahorrar energía, pero se puede mejorar la eficiencia de las luminarias para tener la misma iluminación, con menos potencia y reduciendo el calor emitido por ellas.
31. Apagar las luces que no se usan no sólo ahorra energía, sino que también reduce la carga térmica. Las lámparas fluorescentes compactas autobalastadas generan menos calor y dan igual luminosidad.
32. Los equipos de cocina en zonas donde hay aire acondicionado deberán contar con campana extractora para remover los vapores grasosos. Esto reduce en mucho la carga producida por el vapor de los alimentos y el agua al ser cocinados.
33. Los horarios del personal también influyen. Cuando existen horas en especial donde la carga es mayor, mientras que en otras es mínima, es conveniente elegir equipos que manejen cargas parciales o usar dos equipos en lugar de uno que sólo se apaga o se enciende.
34. La presencia de suciedad en las rejillas y ductos indica suciedad en los filtros y el serpentín, lo que denota un mantenimiento deficiente o que requiere mayor periodicidad.
35. Se debe llevar a cabo la medición real de los CFM de ventilación exterior y ajustarlos a los parámetros recomendados.
36. Para un mejor control en las condiciones de operación de los equipos y los niveles de *confort*, se recomienda instalar el sensor de temperatura en el ducto de retorno del aire acondicionado.
37. Hay que tomar mediciones reales del proceso psicrométrico de la instalación y optimizarla.
38. Se aconseja implementar sistemas de barrera radiante en el sistema constructivo utilizado.
39. Es mejor usar sistemas de iluminación natural o tragaluces que contengan filtros para eliminar la ganancia instantánea solar.
40. Revisar el criterio del dimensionamiento del equipo de aire acondicionado instalado y, en caso de estar sobredimensionado, asegurarse de la eliminación de infiltraciones y la correcta operación del equipo de control de temperatura.

BIBLIOGRAFÍA Y OTRAS REFERENCIAS

- Marcombo (1996). *MANUAL DE AIRE ACONDICIONADO CARRIER (Handbook)*. Barcelona: Boixareu Editores.
- William K.Y. Tao & Richard R. Janis (1998). *MANUAL DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y MECÁNICAS EN EDIFICIOS* (Tomo I). Editorial Prentice Hall.
- McQuiston-Parker-Spitler (2003). *CALEFACCIÓN, VENTILACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO. Análisis y diseño*. México: Editorial Limusa Wiley.
- Ing. Francisco Javier Vadillo (2006). *MATERIAL DIDÁCTICO CURSO REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO*. Notas Técnicas. Universidad Centroamérica José Simeón Cañas, El Salvador.



BUN-CA contribuye al desarrollo y fortalecimiento de la capacidad energética de Centroamérica para aumentar la producción mediante el uso sostenible de los recursos naturales, como medio para mejorar la calidad de vida.

www.bun-ca.org



El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo es una agencia de implementación del GEF, a través de su Oficina Nacional en Costa Rica, la cual es apoyada por sus contrapartes en los otros países centroamericanos.

www.undp.org



El Fondo del Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés) contribuye financieramente para cubrir los costos incrementales, a fin de alcanzar beneficios globales en el Área de Cambio Climático.

www.gefweb.org



La Universidad Tecnológica de Panamá forma y capacita integralmente al más alto nivel, Recurso Humano que genere, transforme, proyecte y transfiera ciencia y tecnología para emprender, promover e impulsar el desarrollo tecnológico, económico, social y cultural del País.

www.utp.ac.pa