

AHORRO DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN

RESUMEN

Las necesidades de *confort termico* y *calidad del aire interno (iaq)* son incuestionables en sistemas HVAC/R, pero los conceptos deben estar soportados en normas relacionadas con la eficiencia energética. Estas normas de eficiencia energética, han sido desarrolladas en Colombia por ICONTEC dentro del programa CONOCE de la UPME y serán código en el futuro. Este artículo describe el uso de algunas normas y aplicación.

CARLOS ALBERTO OROZCO

HINCAPIÉ, M.Sc.

Profesor Titular

Ingeniería Mecánica

Universidad Tecnológica de Pereira.

PALABRAS CLAVES: Ahorro de energía en sistemas CVAC/R

ABSTRACT

Thermal Comfort and IAQ have not question about it in HVAC/R systems, but they have to be supported by energy efficiency standards. Those standards have been developed in Colombia by ICONTEC with the UPME program: CONOCE. And will be code in the future. This article describe the use of some standards with examples.

KEYWORDS: Energy management in HVAC/R systems.

1. INTRODUCCIÓN

Las necesidades de CONFORT TERMICO y CALIDAD DEL AIRE INTERNO (IAQ) son exigencias en los sistemas de aire acondicionado y refrigeración (CVAC/R) Para lograr dichos propósitos es necesario confirmar la primera midiendo la temperatura seca y húmeda, la humedad relativa interna, aparte de obtener una **conformidad** del 80 % de los usuarios (según norma ANSI/ASHRAE 55-1992). La calidad del aire se verificara mediante la medición de la cantidad del aire externo:

Caudal = Velocidad medida promedio en la rejilla
(norma ANSI/ASHRAE 41.2-1987) x área.

Dicha toma en áreas que garanticen la limpieza del aire externo y se verificara la no existencia de acumulaciones de agua en los serpentines, condensaciones, filtraciones de humedad, correcta operación de filtro de aire, inexistencia de contaminantes y microorganismos, correcto mantenimiento de los elementos del sistema, acorde con la norma ANSI/ASHRAE 62.1-2001. Como complemento se debe operar el sistema con el nivel de ruido apropiado, 50 dB o menos para todas las aplicaciones en sistemas de aire acondicionado. Desde el punto de vista legal Verifique el cumplimiento al menos de los artículos 73 (1-2 general cfm /ft², cabinas de soldadura Eléctrica y limpieza abrasiva 100 cfm/ft²) y el artículo 154 (ppm de contaminación permisibles) de la resolución 2400 /1979 del MTSS.

Todo lo anterior debe ser manejado dentro del concepto del uso racional de la energía y el desarrollo sostenible.

Este artículo enfatiza el primer aspecto, escribe el ámbito legal y las normas técnicas al respecto, incluyendo las normas técnicas colombianas (NTC, proceso en el que la UTP ha participado a través del autor, dirigiendo el comité de maquinaria en aire acondicionado), sugiere una clasificación para equipos de aire acondicionado, define la relación de eficiencia energética, da aplicaciones y sugiere estrategias para ahorrar energía en proyectos de aire acondicionado.

La eficiencia energética es una herramienta para mejorar la productividad y la competitividad de las empresas.

2. MARCO LEGAL Y NORMATIVO DEL USO RACIONAL DE ENERGIA

Los aspectos legales en Colombia se fundamentan en la ley 697 de 2001 mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, y promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.

La CREG expide la resolución 097 del 2000: "Por la cual se establecen pautas para el diseño, normalización y uso eficiente de equipos y aparatos eléctricos." Esta resolución en su artículo primero establece que la UPME definirá los equipos y aparatos dando prioridad a los de mayor consumo. En el artículo séptimo establece las etiquetas URE (Uso Racional de Energía) para los equipos en mención entre los que están los refrigeradores doméstica y comercial y los aire acondicionados de ventana y unitarios. .

Otro soporte legal es la resoluciones 0165 de 2001 de la UPME, por medio del cual se determina la lista de equipos de uso final que serán objeto del Programa Colombiano de Normalización, Acreditación, Certificación y Etiquetado de Equipos de Uso final de Energía “PROGRAMA CONOCE”. La lista de equipos y aparatos eléctricos cobijados por las pautas establecidas en esta resolución deberá ser consultada con las entidades que tengan funciones de normalización en las materias a que se refiere esta resolución y podrá ser modificada por la UPME periódicamente.

Todo lo anterior sirvió de soporte para desarrollar el trabajo de normalización y servirá para la *Certificación voluntaria*: Los fabricantes e importadores de equipos y aparatos eléctricos podrán llevar a cabo una certificación previa de las etiquetas URE de uno o varios de los productos que ofrezcan en el mercado. Sin embargo si se presentan cambios en alguna o algunas de las características del producto, que implique cambios en la etiqueta URE, la certificación expedida con anterioridad no aplicará para las etiquetas URE de los nuevos productos que incluyan dichos cambios.

3. CLASIFICACION DE LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO Y SUS NORMAS DE ENSAYO.

Teniendo en cuenta las fases que tendría el proceso de formulación de una norma que serian clasificación, metodología de ensayo y desempeño energético, se presento entonces a consideración del comité de maquinaria en aire acondicionado, los aspectos relacionados con la clasificación de los equipos de aire acondicionado establecida por la ASHRAE en su 2000 ASHRAE HANDBOOK: HVAC SYSTEMS AND EQUIPMENT.

3.1 Acondicionadores de recinto, paquetes terminales de aire acondicionado y deshumidificadores

Equipos de recinto son aquellos diseñados para ser instalados sobre muros o en ventanas con el fin de enfriar o tibar un cuarto, sin o con ducto (máximo 1200m.m.). La función básica es proveer confort enfriando, deshumectando, filtrando o limpiando y recirculando el aire del recinto. Puede también proveer renovación de aire.

ARI define un paquete terminal de aire acondicionado (PTAC) una perimétrica y no encapsulada combinación de serpentines de calentamiento y enfriamiento montados a través de la pared. Un PTAC incluye componentes de refrigeración, separable outdoor louvers, ventilación forzada y calefacción por agua caliente, vapor o resistencia eléctrica. Lo más común son los fan-coils, los mini-split o multi-split. para enfriamiento, que podrían incluir serpentín de calefacción. Las normas de soporte son las siguientes:

- ANSI/ASHRAE 79-1984 (RA-91): Room Fan-coil
- ANSI/ASHRAE 16-1983 (RA 88)
- ASHRAE 127-1988: Computer and Data processing Room unitary air-conditioners.
- NTC 4295: Norma técnica colombiana para ensayo de equipos de ventana
- NTC 4366: Eficiencias máximas consideradas para equipos de 1758 A 10548 W.

Basado en lo anterior, las discusiones en el comité y la consulta pública, se presento una modificación a la NTC-4366 y esta pendiente la modificación a la NTC-4295.

3.2 Acondicionadores unitarios

ARI define acondicionadores unitarios uno o mas conjuntos o ensamblajes hechos en fabrica que normalmente incluyen un evaporador o enfriador, un compresor y el condensador. También puede incluir un serpentín de calentamiento (no usado en Colombia). Una bomba de calor unitaria es un conjunto de fabrica de una o mas partes que incluye un serpentín acondicionador interno, un compresor y un serpentín externo. El calor puede ser extraído o rechazado de un ciclo de agua o aire. Cuando las partes a ensamblar son mas de una se dice que el sistema es dividido (SPLIT), caso de manejadoras y condensadoras. Los documentos base fueron:

- ANSI/ASHRAE 37-1988R: unitary air conditioners and heat pumps
- La NOM-011-ENERO 1996, norma mexicana sugiere un COP de 2.93 Wt/We, como valor mínimo de eficiencia energética para equipos tipo paquete o sistema dividido, operados eléctricamente con capacidades de enfriamiento de 10540 W hasta 17580 W, que funcionan por compresión mecánica y que incluyen un serpentín evaporador enfriador de aire, un compresor y un serpentín condensador enfriado por aire o agua.
- ¿Aplica la norma NTC 3292.? Si. La norma lo especifica en el numeral 2.1 párrafo segundo.
- NTC 4366: Eficiencias máximas consideradas para equipos de recinto.

Basado en lo anterior, las discusiones en el comité, y la consulta pública, se presento una modificación a la NTC-4366 y la elaboración de dos nuevas normas: NTC-5104 sobre eficiencia energética y la norma de ensayo NTC-5115.

4. RELACION DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (REE)

Las nuevas normas sobre eficiencia energética de equipos definen la relación de eficiencia energética como la relación entre la capacidad de enfriamiento \dot{Q}_o y la potencia demandada \dot{W}_D . Este es un numero adimensional o simplemente vatios térmicos producidos

sobre vatios eléctricos requeridos (Wt/We). Este es el mismo COP termodinámico, pero calculado con base en la potencia demandada.

$$REE = \frac{\dot{Q}_o}{\dot{W}_D}$$

5. APLICACIONES

5.1 Aplicación 1

Los fabricantes lo expresan el COP como el EER.(BTU/W-H). Basta multiplicar el REE por 3.412 Para obtener el EER. La norma mexicana sugiere un valor mínimo de REE = 2,93 que será igual a EER = 10 BTU/W-H, para sistemas divididos.

5.2 Aplicación 2

Para el caso de equipos de ventana, ASHRAE 2000, pagina 46.3, Tabla 1, sugiere:

Capacidad (W)	COP (Wt/We)
1200-2900	2.9
3500-5900	3.1
7000-7900	3.2

5.3 Aplicación 3

La nueva norma NTC-4366 del 2002 sugiere los siguientes rangos para equipos de recinto:

TIPO	3.05-EEC:	EER (BTU/W-H)
TIPO A	2.9-3.05	10.4
TIPO B	2.75-2.9	9.89
TIPO D	2.6-2.75	8.87
TIPO F	2.3-2.45	8.36
TIPO G	0- 2.3	7.85

5.4 Aplicación 4

La nueva norma técnica para equipos unitarios, NTC-5104, sugiere los siguientes valores de relación de eficiencia energética:

RANGOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (Wt/We)		
RANGO	Límite inferior (incluido)	Límite superior
A	4.35	EEC
B	4.00	4.35
C	3.65	4.00
D	3.30	3.65
E	2.95	3.30
F	2.60	2.95
G	0.00	2.60

Tabla 1. Rangos de la relación de eficiencia energética para equipos unitarios aplicación 5.

La Figura 5.1, ubicada al final del artículo, muestra la forma de la etiqueta de Eficiencia Energética de equipos de aire acondicionado para recinto.

Las características son las siguientes:

- Dimensiones normalizadas
- Tipo de letra normalizada
- Barras de mejor eficiencia las mas cortas. Máxima eficiencia Barra A. Eficiencia mínima G. Un reglamento expedido por el Ministerio de Minas y Energía definirá si estos equipos se pueden vender en el mercado Colombiano.
- El equipo debe especificar su eficiencia usando las barras, las cuales implican un rango como se vio en la aplicaciones 3 y 4.
- Se debe especificar la REE en vatios térmicos por vatio eléctrico (Wt/We).
- La etiqueta contendrá la capacidad de enfriamiento en vatios térmicos (Wt) y el tipo de enfriamiento del condensador.
- En la etiqueta se especificará la norma técnica usada durante el ensayo de los equipos.

6. AHORRO DE ENERGIA EN AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN

Para el diseño de equipos de aire acondicionado tenga en cuenta que una alta REE de los equipos no es garantía de un alto desempeño del sistema.

Un Uso Racional de la Energía de los sistemas de aire acondicionado. se obtiene con:

- Seleccionando o diseñando la unidad apropiada (cálculo adecuado de cargas térmicas)
- Minimizando las infiltraciones de aire externo
- Reduciendo el U de paredes
- Mejorando la eficiencia de la iluminación.
- Alta eficiencia de los equipos empleados en aire acondicionado: alto COP o REE.
- Alta eficiencia de ventiladores, compresores y motores eléctricos.
- Usar velocidad variable en ventiladores de manejadora o condensadora (caso de Bogotá, donde con la presión de descarga se controla la velocidad de los ventiladores de la condensadora)
- Optimización del diseño de ductos y distribución del aire.
- Aplicar un programa de mantenimiento apropiado (preventivo y predictivo)
- Emplear el control automático (PID). con programación de eventos.
- Adoptar Sistemas de manejo de energía.(BMS) Ver AC/R Vol. 5 No.2 Marzo/Abril 2002
- Emplear sistemas de recuperación de calor. Ver revista ACAIRE No.29,pgs 5-7,16-17.

Para cada caso es necesario diseñar un procedimiento de calculo de los ahorros y estimar el tiempo de recuperación de capital adicional invertido.

7. AHORRO DE ENERGIA EN VENTILADORES , COMPRESORES Y MOTORES

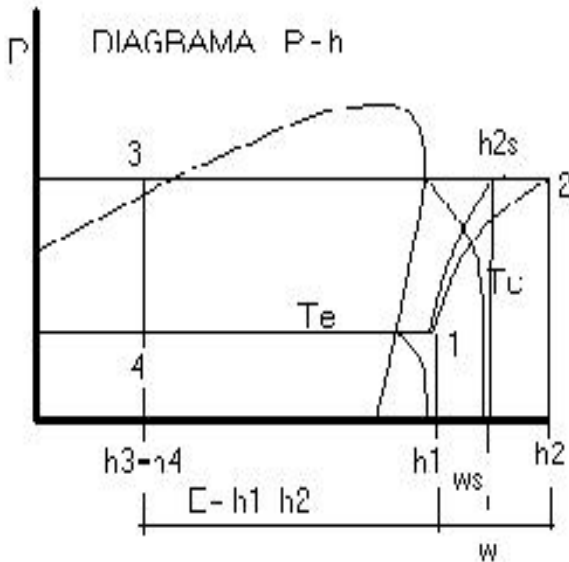
Para el caso de los ventiladores la potencia del motor en HP, se puede estimar asi:

$$HP_M = \frac{CFM \times SP(in.c.a)}{6356 \times \eta_s \times \eta_{ac} \times \eta_{al}} \quad (1)$$

Mantener pocas perdidas (SP) para impulsar un caudal de aire (CFM) a un local es lo ideal. Esto dependerá del diseño del sistema de ductos .y la selección de un ventilador de alta eficiencia, motor de alta eficiencia y para grandes sistemas hasta un variador de velocidad o RPM que mantenga la eficiencia estática η_s en el máximo valor. Respecto al accionamiento es preferible acople directo: $\eta_{ac}=1$ en este caso, otros, 0.94-0.98, siendo en transmisión por correas la mas baja. Se tendrá perdida de potencia con la altura sobre el mar, esto se refleja con η_{al} , cuyo valor es 1 a nivel del mar, 0.97

(100-1500 m.s.n.m), 0.94 (1500-2000 m.s.n.m), 0.9 (mas de 2000 m.s.n.m).

Algo similar ocurre con los compresores.



El consumo esta definido por la carga térmica \dot{Q}_o , lo que significa que si se implementan estrategias para reducir esta, se reduce la potencia. Igualmente si se mejora el efecto frigorífico, ϵ , se reduce la potencia, esto se logra sobrecalentado o subenfriando el sistema. Igualmente cambiar de compresor implica mejorar la

eficiencia isentrópica o de otra manera se reducen los kW/TR, como se puede apreciar en la APLICACIÓN 6.

$$HP_{MC} = \frac{\dot{Q}_o (h_{2s} - h_1)}{\epsilon \times \eta_{isentrópica}}$$

(2)

La energía consumida será en KWH/mes y esta facilita la recuperación de la inversión adicional.

$$EC = \text{Factor carga} \times HP_M \times 0.745 \times 24 \text{ H/dia} \times 30 \text{ dias/mes} \quad (3)$$

8. RECUPERACIÓN DE LAS INVERSIONES CON EL AHORRO DE ENERGÍA

En economía simple para periodos de menos de 24 meses, simplemente divida lo inversión sobre los ahorros mensuales y así obtendrá el numero de meses. Para periodos mayores use la expresión siguiente que tiene en cuenta los incrementos en los costos de la energía (IPC energía) i y la devaluación o perdida de poder adquisitivo, d.

$$N = L_n \{FVP(i - d) + 1\} / L_n \left(\frac{1+i}{1+d} \right) \quad i \neq d \quad (4)$$

8.1 Aplicación 5

Se puede hacer un cálculo muy rápido para tener una idea del potencial de ahorro de energía que podemos tener con emplear un equipo de mayor EER.

Capacidad del Equipo:	35 T.R.	
Eficiencia equipo alternativa 1:	BTU/W-H (1,26 kW/TR)	9,5
Eficiencia equipo alternativa 2:	BTU/W-H (1 kW/TR)	12
Costo de uso energía eléctrica:	150/KWH , gran consumidor.	\$
Factor de diversidad:	0.60 (Este se relaciona con el nivel de ocupación promedio)	

Cálculo 1

$$0.6 \times 35 \text{ T.R.} \times 1,26 \text{ kW/T.R.} \times 150 \text{ \$/kWh} \times 365 \text{ Días/Año} \times 24 \text{ h/Día} = 34\ 768\ 283 \text{ \$/Año}$$

Cálculo 2

$$0.6 \times 35 \text{ T.R.} \times 1 \text{ kW/T.R.} \times 150 \text{ \$/kWh} \times 365 \\ \text{Días/Año} \times 24 \text{ h/Día} = \\ 27\,594\,000 \text{ \$/Año}$$

Diferencia: 7 174 283 \\$/Año

Si la diferencia entre alternativas de es de \$350 000/TR, el tiempo estimado de recuperación sera:

$$\text{FVP} = (35 \text{ TR} * \$ 350\,000/\text{TR}) / \$ 7\,174\,283 / \text{año} = \\ 1,7075 \text{ años (20.5 meses).}$$

Un calculo mas preciso para una inflación energética del 16% y una devaluación del 20% anual.

El tiempo de la recuperación de capital: se calculará con los intereses nominales mensuales. Se vera poca discrepancia para el caso de periodos cortos de recuperación de capital. Asumiendo tasas efectivas anuales, el calculo con tasas nominales seria:

$$i_n = (1 + i_e)^{(1/12)} - 1$$

$$N = \frac{L_n \{20,5 (0,01245 - 0,0153) + 1\}}{L_n \left(\frac{1,01245}{1,0153} \right)} = 21,42 \text{ meses}$$

Usando tasas efectivas anuales se tiene un resultado de 2.1 años.

7. CONCLUSIONES

Para el diseño de sistemas de aire acondicionado tenga en cuenta que una alta REE de los equipos no es garantía de un alto desempeño del sistema. Un uso racional de la energía de los sistemas de aire acondicionado y refrigeración se obtiene aplicando un conjunto de estrategias que se aplicaran desde el principio del diseño de cargas, ductos, sistemas, hasta la selección de equipos de alta eficiencia energética. Nunca se debe descartar la aplicación de las normas ANSI-ASHRE 55, 62.1 y 90-1,

al igual que las NTC sobre equipos de aire acondicionado en este artículo.

9. BIBLIOGRAFIA

- [1] OROZCO HINCAPIE., CARLOS ALBERTO. Máquinas Térmicas. Pereira, Colombia: UTP, notas de Clase, II semestres 2002.
- [2] RASE, HOWARD F. et. al. Ingeniería de Proyectos para Plantas en Proceso. Méjico: CECSA, 1973.
- [3] Resoluciones 097/2000 de la CREG y 0165 /2001
- [4] NTC-4366, NTC-4295, NTC-5104, NTC-5115: Normas de eficiencia energética y ensayo de equipos
- [5] ASHRAE Handbook . 2000 HVAC SYSTEMS AND EQUIPMENT . Atlanta, GA, USA: ASHRAE
- [6] ICONTEC- UPME. Programa CONOCE, CD Eficiencia Energética. Bogotá, Colombia: UPME, Febrero 2003, disponible en : <http://www.upme.gov.co>

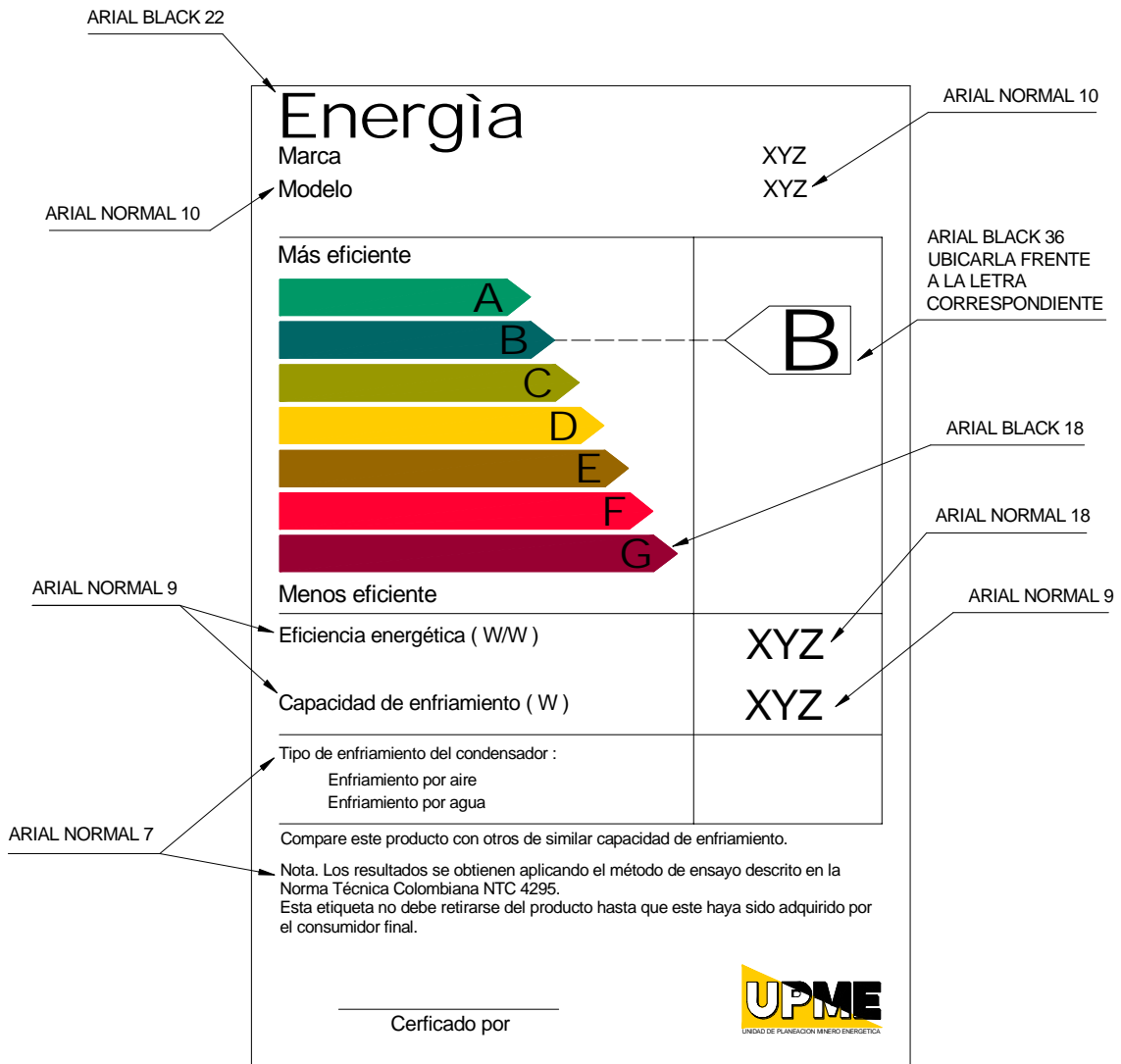


Figura 5.1. La figura muestra la etiqueta de los equipos para recinto.