

ASPECTOS NORMATIVOS, LEGALES Y METODO DE ENSAYO EN LAS PRUEBAS DE EQUIPOS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE DE RECINTO

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados del diseño experimental implementado para el laboratorio de pruebas y ensayos de equipos de acondicionamiento de aire LPEA-UTP, en lo relacionado al método de ensayo para la estimación de la eficiencia energética de acondicionadores de aire para recinto. Esto es de particular importancia si se considera que las normas nacionales e internacionales relacionadas con este tipo de pruebas son demasiado ambiguas y no dan solución al caso particular del diseño implementado para el laboratorio LPEA-UTP.

PALABRAS CLAVES: Acondicionamiento de aire, eficiencia energética, diseño experimental.

ABSTRACT

This paper present the results of the experimental design performed to the air conditioner test laboratory LPEA-UTP, it is concerning to the test method in order to evaluate the room air conditioner's energy efficiency. It is particularly important considering that the national and international standards are so ambiguous and they do not give a solution to the particular design of the laboratory LPEA-UT.

KEYWORDS: Air conditioning, energy efficiency, experimental design.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente se encuentra en estudio por parte del Ministerio de Minas y Energía, el reglamento técnico que busca fijar estándares de calidad en equipos electrodomésticos de uso final de energía. Dentro de este tipo de equipos se encuentran los acondicionadores de aire para recinto.

El objetivo de este reglamento es evitar que el país se inunde de equipos ó tecnologías de baja eficiencia energética, que deterioren el medio ambiente y/o generen un mayor consumo de energía. Para que el reglamento técnico sea aplicable a los acondicionadores de aire para recinto, debe existir en el país un laboratorio como el LPEA-UTP acreditado según norma internacional 17025 (Requisitos Generales para la competencia de laboratorios de Calibración y Ensayos), con el cual evaluar mediante ensayos experimentales, la eficiencia energética de este tipo de equipos, para efectuar su clasificación.

El reglamento técnico busca dar cumplimiento a lo estipulado en la Ley 697 de 2001 y Resolución 0165 del 2001 de la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética). Con la primera se fomenta el uso racional de la energía y se promueve el uso de energías alternativas. En la segunda se lista los equipos domésticos de uso final de la energía como objeto del programa CONOCE (Programa Colombiano de Normalización, Acreditación,

CARLOS OROZCO HINCAPIE

Ingeniero Mecánico, M.Sc.
Profesor Titular
Universidad Tecnológica de Pereira
corozco@utp.edu.co

NÉSTOR FONSECA DIAZ

Ingeniero Mecánico, M.Sc.
Profesor Auxiliar
Universidad Tecnológica de Pereira
nfonseca@utp.edu.co

Proyecto de Investigación Inscrito en el Centro de Investigaciones de la UTP como 8-05-2.

Certificación y Etiquetado de equipos de uso final de energía) desarrollado por ICONTEC, con el cual se pretende establecer una clasificación de los quipos para conscientizar al consumidor frente al ahorro de energía y preservación del medio ambiente.

Este artículo describe la normatividad relacionada con el método de ensayo y diseño de instalaciones, equipos e instrumentación requerida para este tipo de pruebas. así como el método de ensayo para el caso particular del laboratorio LPEA-UTP. Esto ultimo considerando las particularidades en su diseño en cuanto a dimensiones, tipo de equipos e instrumentación utilizada sistema de monitoreo etc. Finalmente y como parte del estudio para el diseño del LPEA-UTP se enumeran y describen las deficiencias detectadas en las normas en cuanto a los parámetros más importantes de diseño

2. NORMATIVIDAD

Las normas relacionadas con este proceso para el caso de acondicionadores de aire son las norma NTC 4366 "Eficiencia energética en acondicionadores de aire para recintos. Rangos de eficiencia energética y etiquetado" y las normas ANSI ASHRAE16 (NTC 4295) e ISO 5151 con las cuales se establece el método de ensayo.

En la norma NTC 4366 establecen los s rangos de clasificación para los equipos mostrados en la tabla 1.

Definiendo eficiencia energética (EE) como cociente entre la potencia de enfriamiento del equipo (W_t) y la potencia eléctrica promedio suministrada durante el periodo de determinación de potencia de enfriamiento (W_e). El termino EEC corresponde al Limite termodinámico máximo ó Eficiencia energética de Carnot para a un ciclo ideal de refrigeración con procesos de compresión y expansión reversibles, además, adición y rechazo de calor isotérmicos.

Rangos de eficiencia energética (W_t/W_e)		
Rango	Limite inferior (incluido)	Limite superior
A	3,05	EEC ¹
B	2,90	3,05
C	2,75	2,90
D	2,60	2,75
E	2,45	2,6
F	2,30	2,45
G	0,00	2,30

Tabla 1. Rangos de eficiencia energética

A partir de la clasificación anterior la norma establece un sistema de etiquetado como el mostrado en la figura 1, para informar al consumidor final del producto sobre la eficiencia energética del equipo.

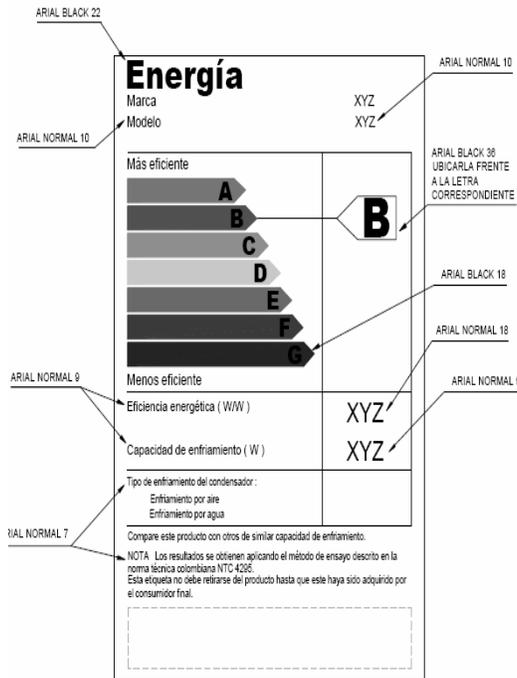


Figura 1. Etiqueta de eficiencia energética

3. METODO DE ENSAYO PARA EL LPEA-UTP

Las normas nacionales de ensayo NTC 4295, NTC 5151 e internacional ISO 5151, establecen de forma muy general las bases para la clasificación, tipos de

calorímetros, métodos de ensayo, condiciones de diseño, rangos tolerables de exactitud en mediciones y resultados y las variaciones permitidas de los registros [2, 3, 4,5].

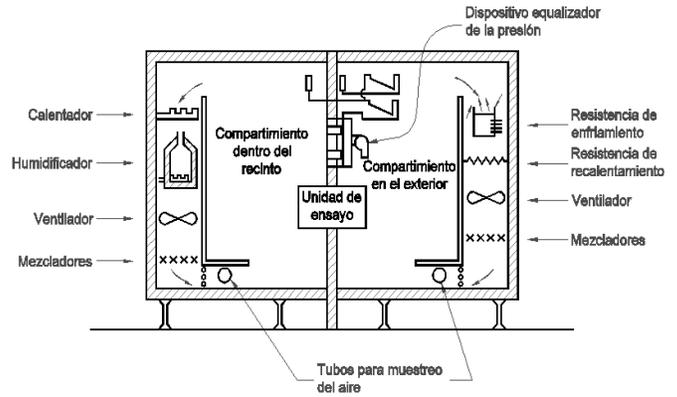


Figura 2. Calorímetro tipo recinto

El método de ensayo básicamente consiste en estimar la eficiencia energética de los equipos mediante balances de calor sobre el equipo y sus alrededores. Para esto se realizan los ensayos al interior de una cámara calorimétrica, con la cual se simulan las condiciones de operación del equipo en prueba. La norma define de manera general dos tipos calorímetro.

El calorímetro tipo “recinto calibrado típico” se muestra en la siguiente figura 2, adaptado de [2] y [4].

Se tienen básicamente dos compartimentos separados por un tabique sobre el cual se monta el equipo bajo ensayo, siguiendo las recomendaciones del fabricante para que la instalación sea exactamente igual a la del equipo prestando su servicio normal. En el compartimiento exterior se simula mediante un equipo de acondicionamiento de aire, las condiciones de humedad y temperatura propias del ambiente exterior. En el compartimiento interior se simulan de igual manera las condiciones de la zona de confort o carga térmica del espacio que requiere ser climatizado. Las condiciones de temperatura y humedad ajustadas en los compartimentos permiten evaluar la máxima capacidad de enfriamiento del equipo bajo ensayo. El calorímetro permite además de simular las condiciones de ensayo, minimizar y sobretodo cuantificar el efecto térmico de las pérdidas de calor con el ambiente exterior.

En la figura 3, se muestra el segundo tipo de calorímetro mencionado en las normas:

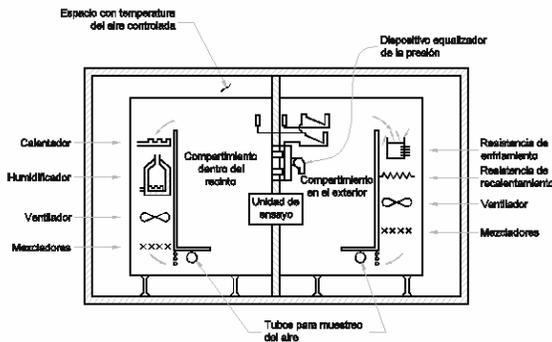


Figura 3 Calorímetro tipo recinto con ambiente equilibrado.

La diferencia básica con respecto al calorímetro anterior son los espacios acondicionados y controlados a manera de anillos térmicos de protección ubicados alrededor de las cámaras interior y exterior. Con ellos se pretende atenuar a un mas las pérdidas de calor a través de las paredes. Esto se logra manteniendo y controlando las condiciones de temperatura y humedad de estas zonas iguales a las de los compartimientos interior y exterior, para lo cual se deben emplear dos sistemas de acondicionamiento de aire adicionales en cada uno de los anillos térmicos de protección generados.

Se estima la potencia de enfriamiento de la unidad bajo ensayo, por dos métodos independientes. El método principal consiste en calcular la capacidad de enfriamiento de la unidad bajo ensayo a partir del balance de calor de la cámara interior (del lado del evaporador) y mediciones independientes de los flujos de calor involucrados. Un segundo método ó de confirmación del resultado anterior, consiste en evaluar la capacidad de enfriamiento del equipo bajo ensayo mediante un balance de la cámara exterior (lado del condensador) y mediciones independientes en esta cámara de los flujos de calor involucrados.

Para los calorímetros mostrados previamente las normas establecen la metodología a seguir mediante balances de energía propuestos para estos casos específicos, sin embargo no es aplicable al calorímetro LPEA-UTP debido a sus particulares condiciones de diseño.

El calorímetro implementado en el LPEA-UTP, se muestra en la figura 4.

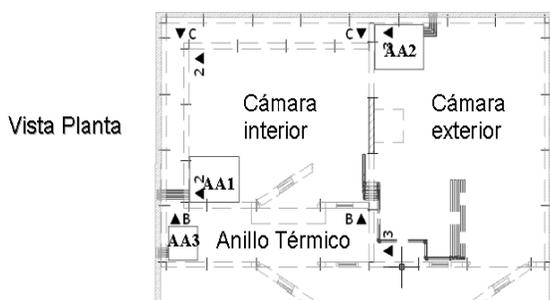


Figura 4. Calorímetro LPEA-UTP

Como se puede observar, el calorímetro LPEA-UTP presenta solo un anillo térmico de protección alrededor de la cámara interior, con el fin de reducir costos considerando que es una modificación permitida en las normas. Se utilizan además puertas y ventanas térmicas, con doble vidrio y gas interior para reducir las pérdidas de calor por estos elementos y 3 equipos de acondicionado de aire de precisión (AA1, AA2 y AA3 en la figura anterior) cada uno con sistemas de humidificación, deshumidificación, calefacción y enfriamiento, independientes, para mantener las variaciones de temperatura y humedad dentro de los rangos establecidos en la norma.

A continuación se muestra en detalle los balances de calor y variables medidas y calculadas necesarias para estimar la capacidad de enfriamiento para el caso particular del calorímetro LPEA-UTP:

4. MÉTODO PRINCIPAL

Para calcular la potencia de enfriamiento ϕ_{tci} como resultado del ensayo, tenemos la siguiente ecuación producto del balance térmico del recinto interior, considerando las variaciones en los equipos y el calorímetro diseñados para el LPEA-UTP:

$$\phi_{tci} = \sum Pr + [h_{w;1} - h_{w;2}] \cdot W_r + \phi_{lp} + \phi_{lr} [1]$$

Donde:

$\sum Pr$ [W] : Potencia eléctrica de todos los equipos ubicados dentro de la cámara interior. Se mide directamente.

W_r [gr /s] : Flujo de agua suministrada a la cámara por el sistema de humidificación del equipo AA1. Se mide directamente.

$h_{w;1}$ [kJ/kg]: Entalpía del agua o vapor suministrada para mantener la humedad de la cámara interior. Se calculada a la temperatura del agua suministrada al recinto por sistema humidificador del equipo AA1 ($T_{H2O;hum;AA1}$). Cuando no se introduce agua, se calcula a la temperatura del depósito del sistema humidificador de equipo AA1 ($T_{H2O; tanq;AA1}$).

$h_{w;2}$ [kJ/kg]: Entalpía del condensado que abandona la cámara interior, se calcula a la temperatura de bulbo húmedo del aire a la salida del equipo reacondicionador AA1 ($T_{a;sal;AA1;bh}$), mediante la siguiente ecuación.

Existen básicamente tres parámetros con los cuales estimar las condiciones de humedad del aire(w) de un recinto. La temperatura de bulbo húmedo es uno de ellos, pero también se tiene la humedad relativa y la

temperatura de dew point. Acorde con un estudio realizado por el “National Renewable Energy Laboratory – Center for buildings and thermal Energy Systems” [1], la manera más precisa de calcular el contenido de humedad del aire (w) en un recinto es la medición de la temperatura de dew point del aire. Este es el método implementado en el calorímetro LPEA-UTP, el cual permite calcular el contenido de humedad (w) y temperatura de bulbo húmedo (T_{bh}) en función de la temperatura de dew point (T_{dp}), con un alto grado de exactitud. Considerando que la medición de temperatura de dew point resulta demasiado costosa, se mide este parámetro solo a la descarga de los equipos reacondicionadores AA1, AA2 y AA3.

Continuando con las variables involucradas en el cálculo de la potencia de enfriamiento se tiene:

ϕ_{lp} [W] : Perdidas de calor a través del tabique de separación.

ϕ_{lr} [W] : Perdidas de calor a través de las paredes de la cámara interior, sin considerar el tabique de separación.

Los flujos de calor por las paredes y tabique de separación son estimados mediante calibración de la cámara por lo menos una vez al año. Este procedimiento se describe en [2,3,4].

5. MÉTODO DE CONTRASTE

Como método de contraste del resultado de ϕ_{tci} , se calcula la potencia de enfriamiento mediante el balance de calor sobre la cámara exterior (ϕ_{tco}) a partir de la siguiente ecuación:

$$\phi_{tco} = \phi_c + \sum P_o - P_t + (h_{w,3} - h_{w,4}) \cdot W_r + (h_{w,4} - h_{w,2}) \cdot W_{r,1} + \phi_{lp} + \phi_{loo} \quad [2]$$

Donde:

ϕ_c [W]: Flujo de calor retirado por la unidad de reacondicionamiento AA2. Equivalente a la potencia efectiva de enfriamiento del equipo de la cámara exterior, el cual se calcula como:

$$\phi_c = \dot{m}_r \cdot (h_{r,sal;evap;AA2} - h_{r,sal;cond;AA2}) \cdot \eta_{evap} \quad [3]$$

Donde:

\dot{m}_r [kg/s]: Flujo de masa de refrigerante

$h_{r,sal;evap;AA2}$ [kJ/kg]: Entalpía refrigerante (R407c) a la salida de la unidad evaporadora AA2. Se calcula en

función de la presión ($p_{r,sal;evp}$) y temperatura del líquido refrigerante ($T_{r,sal;evp}$) a la salida del evaporador.

$h_{r,sal;cond;AA2}$ [kJ/kg]: Entalpía refrigerante (R407c) a la salida del condensador del equipo AA2, (equivalente a la entalpía a la entrada de la unidad evaporadora AA2). Se calcula en función de la presión ($p_{r,sal;cond}$) y temperatura del líquido refrigerante a la salida del condensador ($T_{r,sal;cond}$).

η_{evap} : Eficiencia del intercambiador. Dado por el fabricante del serpentín enfriador.

Las siguientes variables son medidas directamente en la cámara exterior del calorímetro:

P_t [W]: Potencia eléctrica consumida por la unidad bajo ensayo.

$\sum P_o$ [kW]: Potencia eléctrica consumida por los equipos dentro del espacio de la cámara exterior

W_r [g/s]: Flujo de agua suministrado por el sistema de humidificación AA1

$W_{r,1}$ [g/s]: Flujo de agua suministrado por el sistema de humidificación AA2.

$h_{w,2}$ [kJ/kg]: Entalpía del agua condensada que abandona la cámara interior, se calcula a la temperatura de bulbo húmedo del aire a la salida del equipo reacondicionador AA1 ($T_{a,sal;AA1;bh}$).

$h_{w,3}$ [kJ/kg]: Entalpía del agua condensada en la unidad deshumectadora AA2. Se calcula a la temperatura del agua condensada en el sistema deshumectador ($T_{H2O;deshum;AA2}$).

$h_{w,4}$ [kJ/kg]: Entalpía del agua o vapor suministrada para mantener la humedad de la cámara exterior. Se calcula a la temperatura del agua suministrada al recinto por sistema humidificador del equipo AA2 ($T_{H2O;hum;AA2}$). Cuando no se introduce agua, se calcula a la temperatura del depósito del sistema humidificador de equipo AA2 ($T_{H2O;tanq;AA2}$).

ϕ_{loo} [kW]: Perdidas de calor por las paredes, techo y piso de la cámara exterior sin incluir el tabique de separación.

ϕ_{lp} [kW] : Perdidas de calor a través del tabique de separación. Definido previamente.

El flujo de calor por las paredes de la cámara exterior ϕ_{loo} es estimado mediante calibración de la cámara por lo menos una vez al año, mediante un procedimiento descrito en las normas de ensayo.

6. DEFICIENCIAS DETECTADAS EN LAS NORMAS

Como se ha notado, las normas de ensayo mencionadas previamente son demasiado ambiguas en la metodología de ensayo y sobretodo la definición de los parámetros más importantes de diseño. Lo anterior se debe en parte a que existen intereses económicos por parte de compañías dedicadas a la fabricación de este tipo de instalaciones, que dificultan la consecución de información detallada para el diseño. A continuación y como parte del estudio realizado para el diseño del LPEA-UTP, se listan los parámetros de diseño en los cuales la norma presenta más deficiencias:

- **Control de temperatura y humedad:** solo se dan las condiciones de variación máximas permitidas en las mediciones pero no se mencionan detalles de los sistemas de control y tipos de equipos necesarios para alcanzar estos niveles de estabilidad requeridos.

- **Flujo de aire y patrones de flujo:** solo se establece un valor máximo de la velocidad del aire para evitar perturbar el funcionamiento del equipo en prueba. No se indica como lograr la homogeneidad de las condiciones del aire en los espacios acondicionados.

- **Diseño experimental:** solo se presentan los rangos requeridos de exactitud en mediciones individuales, pero no se dan detalles sobre el tipo de instrumentación ni diseño experimental requerido para lograr mediante mediciones simultaneas de varios parámetros, la exactitud necesaria en los resultados, acorde con el método de propagación clásico de incertidumbre.

- **Adquisición de datos y mediciones:** solo se lista las mediciones a realizar, pero no se dan detalles sobre el sistema de adquisición requerido para registrar en forma simultánea todas las mediciones de la prueba.

- **Dimensiones de los espacios y paredes del calorímetro:** solo se fijan las distancias mínimas con respecto al equipo, pero no se especifica un espesor óptimo de aislamiento de las paredes ni dimensiones de los espacios acondicionados.

- **Requerimientos de la instalación:** no se menciona nada sobre las instalaciones y/o acometidas de agua, eléctrica y el espacio físico requerido alrededor del calorímetro.

- **Balances de energía:** solo se muestran un caso bastante simplificado del balance de calor en los compartimientos, pero este difiere bastante del balance real necesario considerando el tipo de equipos de acondicionamiento de aire que se debe implementar.

- **Sistemas de enfriamiento:** solo se establecen los requerimientos básicos de variación de temperatura y

humedad pero no definen que sistema utilizar para lograr este objetivo.

7. CONCLUSIONES

Se ha planteado los resultados del estudio para el diseño experimental del laboratorio LPEA, en cuanto a su metodología de ensayo. Esto es de particular importancias considerando la ambigüedad existente sobre el tema en las normas nacionales e internacionales relacionadas con este tipo de ensayo, la cual se evidenciada en este trabajo mediante una lista de deficiencias de la norma relacionadas con algunos de los parámetros más importantes de diseño.

8. BIBLIOGRAFÍA

[1] SLAYZAK, Steven J, RYAN, Joseph P. Instrument uncertainty effect on calculation of absolute humidity using dew point, wet-bulb, and relative humidity sensors. National Renewable Energy Laboratory Center for Building and thermal Energy Systems. Colorado USA. 2001.

[2] NORMA ISO 5151 Non-ducted air conditioners and heat pumps – Testing and rating performance.

[3] ICONTEC, Norma Nacional NTC- 4295. Método de ensayo para la clasificación de acondicionadores de aire para recinto. Bogotá 2005.

[4] ANSI/ASHRAE 16-1988 (RA99) “Method of Testing for Rating Room air Conditioners and Packaged Terminal Air Conditioners”.

[5] ICONTEC, Norma Nacional NTC 4366. Eficiencia energética en acondicionadores de aire para recinto. Rangos de eficiencia energética y etiquetado. Bogota 2002.

[6] OROZCO HINCAPIÉ, Carlos Alberto. Formulación de Proyecto de investigación LPREA-UTP. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, 2003.