

DISEÑO DEL LABORATORIO DE PRUEBAS Y ENSAYOS DE EQUIPOS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE LPEA-UTP

RESUMEN

Este artículo presenta la síntesis del diseño del laboratorio de pruebas y ensayos de equipos de acondicionamiento de aire LPEA -UTP, en lo relacionado al diseño de la cámara calorimétrica e instrumentación necesaria para la estimación de la capacidad de enfriamiento, flujo de masa y eficiencia energética de acondicionadores de aire para recinto, considerando que las normas nacionales e internacionales relacionadas con este tipo de pruebas presentan una metodología muy general y en algunos casos no es lo suficientemente clara en los temas del diseño de la cámara, características de los equipos de aire acondicionado de la cámara e instrumentación para la automatización de la prueba.

PALABRAS CLAVES: Ensayo de equipos de aire acondicionado de recinto, eficiencia energética, cámara calorimétrica.

ABSTRACT

This paper present the results of the experimental design performed to the air conditioner test laboratory LPEA-UTP, it is concerning to the calorimetric chamber design and instrumentation necessary in order to evaluate the room air conditioner's energy efficiency, mass flow and cooling capacity. It is considering that the national and international standards related to this type of tests present a methodology too general and in some cases they are not clear concerning to the chamber design and instrumentation in order to automation of the test.

KEY WORDS: *Testing for rating room air conditioning, energy efficiency, calorimetric chamber.*

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.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo fundamental del laboratorio LPEA-UTP es evaluar mediante ensayos normalizados según normas internacionales (ISO 5151 y ANSI/ASHRAE 16), la capacidad de enfriamiento el flujo de masa la eficiencia energética de equipos de aire acondicionado para recinto (equipos de ventana, mini-split, unidades terminales y equipos de piso y techo) que permitan su clasificación acorde con NTC-4366 o normas de COPANT (Conferencia Panamericana de Normas Técnicas).

Debido a la rigurosidad en las condiciones de diseño e instrumentación, el LPEA-UTP será un laboratorio de características especiales, el cual aspira a ser acreditado por la SIC durante el segundo semestre de 2006 y prestara servicios a fabricantes e importadores en Colombia y la Comunidad Andina. En Latinoamérica será quizá el primero capaz de desarrollar este tipo de ensayos.

Las normas nacionales e internacionales relacionadas con el método de ensayo y los parámetros de diseño de

instalaciones de este tipo, son demasiado ambiguas, sobretodo en lo concerniente a la definición del sistema de control de temperatura y humedad, flujos de aire y patrones de flujo, diseño experimental, sistema de adquisición de datos y mediciones, dimensionamiento de los espacios y calculo del espesor de las paredes del calorímetro, requerimientos de la instalación (acometida de agua y energía), balances de energía y sistemas de enfriamiento. 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 pretende dar respuesta a algunos de estos interrogantes. Se analizaran las características de la cámara de ensayo, instrumentación y sistema de adquisición de datos, equipos de medición complementarios.

2. CAMARA CALORIMETRICA

Dentro de los factores de diseño no considerados en la norma esta su dimensionamiento. El espesor de las paredes del calorímetro LPEA-UTP calculado,

considerando que las pérdidas de calor máximas a través de estos elementos no deben superar el 5% de la capacidad del equipo a ensayar fue de 10 cm. Por otro lado se implementó solo un anillo térmico de protección sobre la cámara interior con el fin de reducir costos, considerando que esta es una modificación que la norma permite.

En cuanto a los equipos de reacondicionamiento de aire, se utilizan 3 equipos de acondicionado de aire de precisión, para mantener las variaciones de temperatura y humedad controladas y monitoreadas dentro de los rangos establecidos en la norma, estos equipos cumplen con las siguientes características:

- Calefacción por resistencias eléctricas de nicromio.
- Enfriamiento con refrigerante (R407c), sistema split y EER= 10 BTU/Wh, con un serpentín de expansión directa para la unidad manejadora ubicada en el plenum de cada recinto.
- Condiciones del espacio controlado son: Cámara interior y anillo térmico: TBS 15-35 °C, TBH 13-25 °C, HR 30-90 %, TDP 10-20 °C. Cámara exterior TBS 7-50 °C, TBH 4-27 °C, HR 30-90 %, TDP 3-20 °C.
- Sistema de control automático que permite regular de 0-100% la capacidad de calefacción, enfriamiento y humidificación del equipo para fijar las cargas del recinto. Control Automático PID.
- Para la temperatura de bulbo seco se tiene: Uniformidad (promedio mediciones de 15 minutos) menor o igual a +/- 0.15 °C y Control (máxima variación instantánea) menor o igual a +/- 0.3 °C.
- Para las variaciones en la temperatura de bulbo húmedo se tiene: Uniformidad (promedio 15 minutos) menor o igual a +/- 0.075 °C. Control (máxima variación instantánea) menor o igual a +/- 0.15 °C.
- Capacidad de deshumidificación por refrigeración que permite la medición del flujo de agua extraído del recinto anillo térmico y cámara exterior con una exactitud del 0.5% de la cantidad medida. Este sistema es regulado por un control proporcional que permite tener una temperatura superficial mínima del serpentín que evite la formación de hielo.
- Capacidad de humidificación en las tres cámaras mediante un sistema que permite la medición del flujo de agua suministrado al recinto interior con una exactitud 0.5% de la cantidad medida.

Los equipos operan con refrigerante R407C que es el sustituto ecológico del R22, con lo cual se da cumplimiento a lo pactado por Colombia en el protocolo de Kyoto.

3. SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

En la figura 1 se muestra la ubicación de los equipos reacondicionadores de aire AA1 (cámara interior), AA2 (cámara exterior) y AA23 (anillo térmico) dentro del calorímetro.

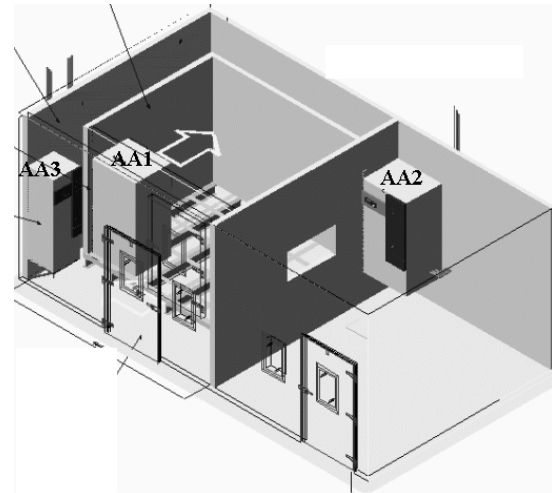


Figura 1. Ubicación de los equipos reacondicionadores de aire en la cámara calorimétrica.

La red de ductos para la cámara exterior se muestra en la figura 2.

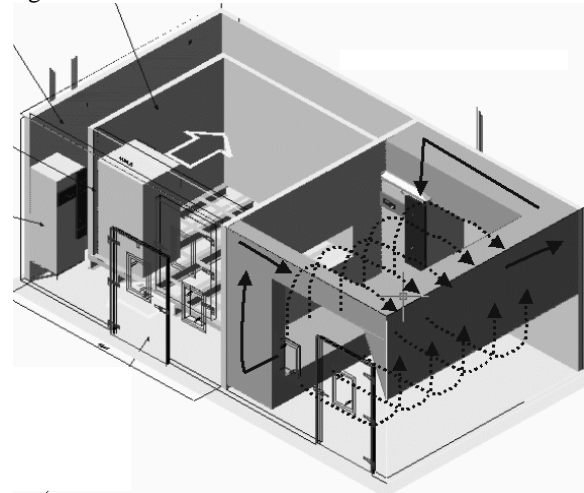


Figura 2. Patrón de flujo de aire dentro de la cámara exterior

En este caso el aire entra al equipo AA2 por la parte superior y es descargado al recinto por el tramo de ducto que pasa por debajo del espacio destinado para instalar la unidad a ensayar en el tabique de separación entre las cámaras. El aire tratado es liberado dentro de la cámara mediante rejillas horizontales y verticales y retorna al equipo reacondicionador AA2 a través de un ducto con perfil inclinado y perforado, ubicado frente a la unidad de

ensayo, para lograr de esta forma condiciones de homogeneidad en temperatura y humedad en todo el espacio y evitar la formación de turbulencias que puedan afectar el rendimiento del equipo en prueba. Para esto último también se restringe la velocidad de descarga del aire a 100fpm dentro de la cámara.

En la figura 3, se muestra el diseño de la red de ductos para la cámara interior:

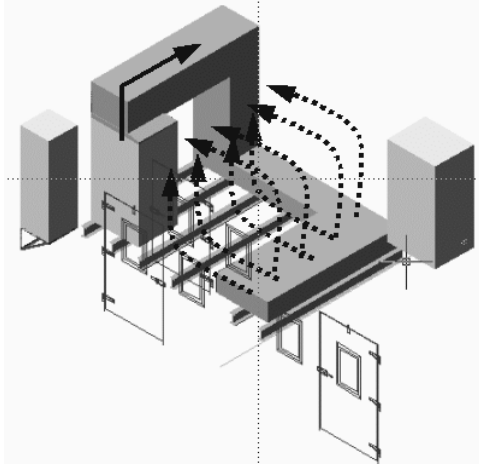


Figura 3. Patrón de flujo de aire dentro de la cámara interior

El principio es el mismo de la cámara exterior, salvo que en este caso el equipo descarga por la parte superior y el aire retorna por el frente del equipo AA1, para ser tratado nuevamente.

El diseño para el anillo térmico se muestra en la figura 4.

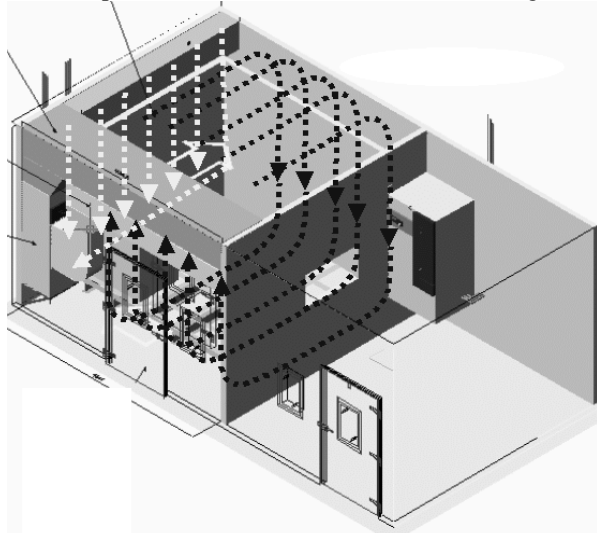


Figura 4. Patrón de flujo de aire dentro del anillo térmico.

Para lograr condiciones de homogeneidad en temperatura y humedad para este espacio, se diseñó un sistema compuesto por dos ductos de descarga, ubicados en la parte superior del equipo AA3. Uno de los ductos descarga en la zona frontal del anillo térmico sobre el techo de la cámara interior, haciendo pasar de esta forma el aire por la pared del fondo y piso a través de una serie

de perfiles en "I" que sirven como alisadores del flujo además de dar soporte de la cámara interior. Finalmente el aire retorna al equipo por un ducto ubicado también en el pasillo frontal del anillo térmico, justo debajo del ducto principal de descarga. Un segundo ducto de descarga se encarga de suministrar aire tratado a la pasillo lateral restante del anillo térmico y retorna al equipo también por abajo del equipo, de esta forma se logra cubrir todo el espacio alrededor de la cámara interior o anillo térmico con el cual se protege este espacio, haciendo que el balance de calor principal sobre este recinto sea más exacto.

3. INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Para calcular como resultado final del ensayo la eficiencia energética del equipo en prueba y su incertidumbre, es necesario medir en forma simultánea 124 variables.

3.1 Instrumentación

A continuación y como resultado del estudio para el diseño del LPEA-UTP, se lista las características de la instrumentación utilizada para lograr este objetivo, su ubicación dentro del calorímetro y detalles sobre el sistema de adquisición de datos e instrumentos anexos de medición.

Termómetros de resistencia de platino tipo PT100:

Variable a medir: Temperatura de bulbo seco
Exactitud $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$. Resolución 0.005°C . El diseño de estos instrumentos está acorde al tipo de aplicación dentro del calorímetro como sigue: 2 para inmersión en líquido refrigerante R407c dentro de tubería, 3 para agua en depósito, 13 para temperatura del aire en las probetas diseñadas para este fin.

Termómetro digital de precisión: Variable a medir: Temperatura de bulbo seco.

Con 8 canales para medición de temperatura con sensores PT100. Auto calibrable en todos sus canales. Exactitud total (sensor de temperatura + medición de la resistencia) $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$. Resolución 0.005°C . Es utilizado para calibración de sensores RTD tipo PT100.

Chilled mirror dew point Hygrometer: Variable a medir: Temperatura de dew point).

Sensor de temperatura de dew point con salida analógica para ser conectado al sistema de adquisición de datos. Con posibilidad de calibración de sensores PT100. Rango de medición de $5\text{-}35^{\circ}\text{C}$. Exactitud $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$. Resolución 0.005°C . Se mide esta variable en la descarga de los tres equipos reacondicionadores AA1, AA2 y AA3. Se instala sobre probetas de medición especialmente diseñadas para este fin y descritas más adelante.

Termocuplas tipo T: Variable a medir: Temperatura de bulbo seco.

Con unión de compensación fría. Exactitud $\pm 0.1^\circ\text{C}$. Resolución 0.005°C . El diseño de estos instrumentos depende del tipo de aplicación dentro del calorímetro como sigue: 26 de contacto para temperaturas superficiales de las paredes, 20 para temperatura del aire, 4 para inmersión en depósito con agua.

Voltímetro: Variable a medir: Voltaje

Con salida análoga para ser conectado al sistema de adquisición de datos. Fase simple ó doble. Exactitud de $\pm 0.2\%$ de la cantidad medida. Resolución de 0.1 V .

Amperímetro: Variable a medir: Corriente.

Con salida análoga para ser conectado al sistema de adquisición de datos. Rango mínimo de $0-100\text{ A}$ (4 sensores) y de $0-300\text{ A}$ (1 sensor). Fase simple ó doble. Exactitud $\pm 0.2\%$ de la cantidad medida. Resolución de $0,01\text{ A}$.

Vatímetro: Variable a medir: Potencia eléctrica

Con salida análoga para ser conectado al sistema de adquisición de datos. Rango de medición mínimo de $0-25\text{ KW}$ (4 sensores) y de $0-100\text{KW}$ (1 sensor). Fase simple ó doble. Exactitud $\pm 0.2\%$ de la cantidad medida. La lectura deberá ser en W y W-hr . Resolución de $0,1\text{ W}$.

Frecuencímetro: Variable a medir: Frecuencia eléctrica

Con salida análoga para ser conectado al sistema de adquisición de datos. Rango de medición mínimo debe ser de $45-65\text{ Hz}$. Fase simple ó doble. Exactitud $\pm 0.2\%$ de la cantidad medida. Resolución de $0,01\text{ Hz}$.

Todas las variables eléctricas se van a medir en 5 circuitos independientes de alimentación. En cada uno de ellos están incluidos todos los equipos eléctricos, iluminación y tomas ubicadas en cada espacio físico donde se va a realizar los diferentes balances térmicos, de la siguiente manera: Cámara interior, Cámara exterior, Anillo térmico, unidad bajo ensayo (UT) y totalizador:

Los medidores se ubican en el tablero central y miden en forma simultánea corriente, voltaje, potencia y frecuencia para enviar la señal al sistema de adquisición de datos.

Circuito multiplexado: Para medición de parámetros eléctricos: Este circuito permite la medición simultánea de parámetros eléctricos (V , A , W , Hz) para cada uno de los equipos eléctricos instalados dentro del calorímetro. Esta información es registrada también mediante el sistema de adquisición de datos, con lecturas en intervalos de 10 minutos. Se ubica en el tablero central.

Barómetro: Variable a medir: Presión Barométrica

Con salida análoga para ser conectado al sistema de adquisición de datos. Rango de medición mínimo de 600 a 1060 hPa . Exactitud $\pm 3\text{ hPa}$ a 20°C . Resolución de $0,1\text{ hPa}$.

Tacómetro: Variable a medir: Velocidad de rotación

Con salida análoga para ser conectado al sistema de adquisición de datos. Rango de medición mínimo de $0,5$ a 10000 RPM . Exactitud $\pm 1\%$ de la cantidad medida. Resolución de $0,1\text{ RPM}$. Se ubica en el ventilador de la unidad a ensayar.

Flujómetro: Variable a medir: Flujo volumétrico de refrigerante R407c

Con salida análoga para ser conectado al sistema de adquisición de datos. Para medición de flujo de Refrigerante R407C. Multivariable permite la medición simultánea de flujo de masa y flujo volumétrico, densidad y temperatura del fluido. Exactitud $\pm 0.2\%$ de la cantidad medida. Resolución de $0,01\text{ kg/h}$. Se ubica en la línea de líquido cerca de las unidades condensadoras del equipo AA2 en el exterior del calorímetro.

Sensores piezoresistivos de presión: Variable a medir: Presión de líquido refrigerante R407C.

Con salida análoga para ser conectado a un sistema de adquisición de datos. Rango mínimo de $0-10\text{ bar}$ (2 sensores) (entrada evaporador y compresor) y de $0-30\text{ bar}$ (1 sensor) (salida del compresor). Exactitud $\pm 0.1\%$ de la cantidad medida. Resolución de 5 mbar .

3.2 Sistema de adquisición de datos con PLC

Este sistema está compuesto por:

1. CPU con procesamiento multitarea con memoria de trabajo hasta 96 K bytes . Tiene la capacidad de manejar hasta 256 puntos analógicos y 512 digitales, pero instalados solamente 128 analógicos y 128 digitales.
2. Entradas analógicas (124): con 16 bits de resolución y $4-20\text{ mA}$ y/o $\pm 10\text{ VDC}$.
3. Salidas analógicas (124): con 16 bits de resolución $4-20\text{ mA}$ y/o $\pm 10\text{ VDC}$.
4. Entradas/salidas digitales (32).
5. Las entradas y salidas son modulares.
6. Módulos digitales de entrada/salida a 24 VDC manejo por relé y optoacopladas.
7. Redes o bus de campo (field bus).

3.3 Software adquisición, control y cálculo

El Software adquisición, control y cálculo está escrito en ambiente Windows. Utiliza protocolo BAS. que garantiza la adquisición de datos, automatización del proceso donde se requiere medir un conjunto de variables y a partir de las mediciones calcular capacidades y estimar incertidumbres. Tiene las siguientes características.

- Por pantalla el usuario puede ingresar los datos de entrada y secuencia de operación del ensayo y datos relevantes de la unidad a ensayar.
- El operador del ensayo tiene la capacidad de crear almacenar y automáticamente generar el ensayo de

una unidad desde la consola de control exterior a la cámara.

- Colecta todos los datos de los sensores del sistema con curvas en tiempo real.
- Recopila información en un ciclo de tiempo ajustable a partir de 2 segundos.
- Despliega todos los cálculos relacionados con el ensayo de capacidad del equipo, variables de control y balance de calor de las dos cámaras y el anillo térmico, calculo de incertidumbre de cada variable y propagación de error total sobre los resultados.
- Provee bajo demanda los gráficos en tiempo real de todas las variables instrumentadas.
- Provee alarmas para alertar al operador si las mediciones de potencia, voltaje o corriente no están dentro de valores establecidos en 0.25%.
- Provee la facilidad de acceso a los archivos de datos de mediciones.
- Entrega los resultados del ensayo en sistema internacional y/o sistema Ingles de unidades.
- Imprime el reporte del ensayo directamente mediante Microsoft Word o Excel.
- Permite el control de los voltajes de la unidad dentro de +/- 2VAC del punto nominal seleccionado.
- Provee la capacidad de calibración de los equipos, cámaras e instrumentos.
- Provee la capacidad de usar los datos de ensayos anteriores para asistir al operador en el inicio de un nuevo ensayo.

Se deben utilizar también una serie equipos adicionales que requieren de diseño y construcción ya que no están disponibles comercialmente. Estos instrumentos y equipos anexos se listan a continuación con los rasgos más relevantes de su diseño.

4 INSTRUMENTACIÓN COMPLEMENTARIA

4.1 Probetas para la medición de temperatura seca y húmeda del aire:

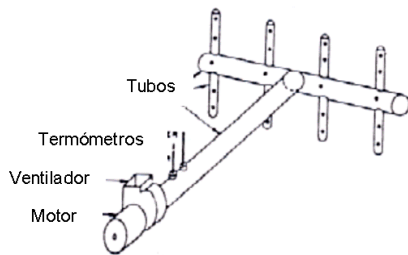


Figura 5. Probeta para medición de temperaturas TBs, TBh y TDp

Básicamente se trata de un dispositivo con el cual se aspira aire a través de una serie de tubos perforados, para luego hacer pasar esta muestra por un tubo central de mezcla y tomar una lectura de temperatura de bulbo seco TBs, bulbo húmedo TBh y dew point TDp promedio. El dispositivo utiliza un ventilador ubicado después de la zona de medición, que aspira la muestra de aire y la

retorna nuevamente al recinto. Este dispositivo esta elaborado acorde con la reglamentación establecida en la norma ASHRAE STANDARD 41.1-1986 (RA 91) pagina 3, ASHRAE STANDARD 41.2-1987 (RA 92) pagina 13, ASHRAE STANDARD 16-1993 (RA 99) pagina 3.

4.2 Medición del flujo de aire: Este dispositivo esta elaborado acorde con la reglamentación establecida en la norma ASHRAE STANDARD 16-1993 (RA 99) paginas 8-9. Cuenta con un mecanismo de acople regulable que permite su fácil conexión a los diferentes tipos de unidad a ensayar. Permite el uso de sensores tipo PT100 para mediciones de temperatura. En la figura 6 se muestra un esquema de este dispositivo.

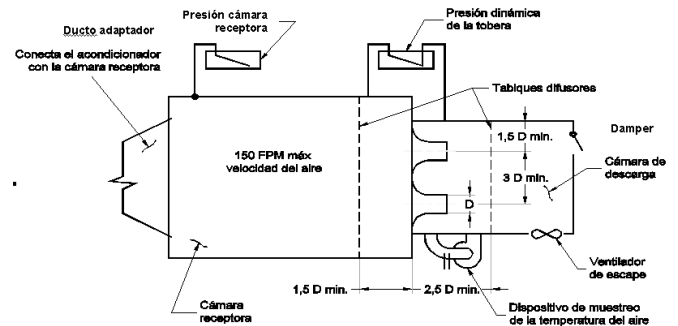


Figura 6. Aparato para medición de flujo de aire.

4.3 Sistema nivelador de presiones: Este dispositivo esta elaborado acorde con la reglamentación establecida en la norma ASHRAE STANDARD 16-1993 (RA 99) paginas 2-3. El sistema puede suministrar de 4 a 50 CFM, reversibles. Cuenta con dos manómetros inclinados para la medición de presión estática y dinámica con rango de medición de 0 a 4" y precisión de +/- 1.25 Pa. y tres toberas de diámetros 0.5", 0.5", 1". El sistema permite la regulación manual de 0 a 100% del flujo de aire. En la figura 7 se muestra un esquema de este dispositivo.

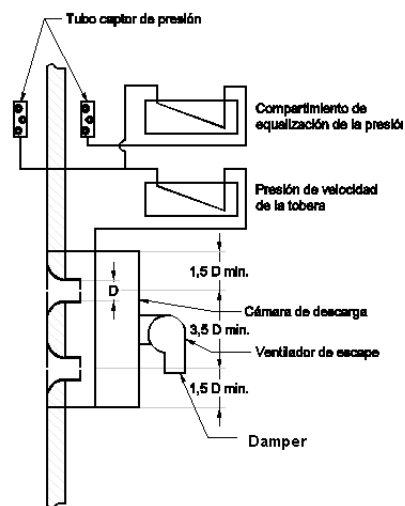


Figura 7. Sistema nivelador de presiones entre las cámaras interior y exterior.

4.4 Sistema detector de fugas de refrigerante R134a y R22: Cumple con el ASHRAE STANDARD 15-1994. Temperatura de operación de -20 a 120°F. Sensibilidad del 1% del flujo de refrigerante en el sistema. Despliegue de al menos dos niveles de alarma en un punto de control (visual y auditiva). La lectura del detector en ppm (partes por millón). El sistema es auto calibrable. El sistema operara a 110 ó 220 VAC, 60 Hz.

4.5 Medición de flujo de condensado: Este sistema esta ubicado en la zona exterior del calorímetro y cerca de las unidades deshumidificadoras, para poder evacuar rápidamente el condensado y evitar su reevaporación. Para esta medición se provee un dispositivo para medir por aforo la cantidad de líquido extraído de la cámara exterior durante el ensayo. Consta de un sistema de drenaje rápido desde el interior de la cámara, un recipiente cerrado con visor exterior para el control de nivel, sistema de drenaje y capacidad de almacenar máximo 15 kg de agua, un soporte metálico que permite suspender el recipiente y acoplarlo al sensor piezoresistivo de fuerza, que entregarán la lectura de la variación en gramos fuerza (gr-f o kg-f) del contenido de agua del recipiente durante el periodo de tiempo que dure el ensayo. Resolución mínima: 0.0001 kg-f (0,1 gr-f).

Todos los instrumentos análogos suministran una señal de salida de 4 a 20 mA y/o +/- 10 VDC y son optoaislados ó con aislamiento galvanico. Adicionalmente todos los instrumentos y/o componentes están certificados por NIST, o por laboratorios o asociaciones acreditadas con NTC-ISO-IEC 17025.

5. CONCLUSIONES

Se ha planteado los resultados del estudio para el diseño experimental del laboratorio LPEA, en cuanto a los parámetros de diseño de la cámara calorimétrica, sistema de acondicionamiento de aire y diseño experimental, considerando que no están definidos las normas nacionales e internacionales relacionadas con este tipo de ensayo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Norma ISO 5151 Non-ducted air conditioners and heat pumps – Testing and rating performance.
- [2] NTC- 4295. Método de ensayo para la clasificación de acondicionadores de aire para recinto.
- [3] ASHRAE 16-1988 (RA99) Method of Testing for Rating Room air Conditioners and Packaged Terminal Air Conditioners
- [4] ASHRAE STANDARD 41.1-1986 (RA 91) Standard Method for temperature Measurement.

[5] FONSECA, Néstor. Estudio experimental del balance térmico de una ventana. Tesis de maestría. 2002. Universidad de Concepción Chile.

[6] ANSI/ASHRAE 41.2-1987 (RA92) Standard Methods for Laboratory Airflow Measurement.

[7] ANSI/ASHRAE 41.3 – 1989 Standard Method for Pressure Measurement.

[8] LAZCARRO Jairo Francisco. Calorímetros NTC 4295. San Jun de Puerto Rico, Puerto Rico: Universidad de Mayagüest, Consulta vía e-mail. 2004.

[8] TESCOR “Climatic Testing Equipment”. Cotización Calorímetro según ASHRAE 16-1983 (RA99). Pensilvania USA. Consulta vía e-mail. 2004.

[10] MOTTARD Jean Michel Université de Liège. Calorímetros ULG Consulta vía e-mail. 2004.

[11] OROZCO HINCAPIÉ Carlos Alberto. Formulación de Proyecto de investigación LPEA -UTP. Universidad Tecnológica de Pereira. 2003.