

CICYT

**LABORATORIO DE AIRE ACONDICIONADO Y
SU RESPECTIVA GUIA DE PRUEBAS
EXPERIMENTALES**

AUTORES: Walther González Morales¹, Eduardo Donoso P.²

¹Ingeniero Mecánico especialidad Termofluidos 2001.

**² Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior
Politécnica del Litoral, 1970, Profesor ESPOL desde 1970**

RESUMEN

Con la realización de esta tesis, que es la instalación de una manejadora de aire y diseños de ductos para el laboratorio, se está cumpliendo con la primera parte de una vieja aspiración de la ESPOL, que es contar con un laboratorio de aire acondicionado.

La segunda parte y la más importante es la elaboración de una guía de prácticas con la cual el estudiante podrá complementar sus conocimientos adquiridos en clase.

Las diferentes partes que componen un sistema de aire acondicionado, tales como: compresor, condensador, serpentín de expansión directa (para este caso), evaporador, ventilador, ductos de distribución de aire, torre de enfriamiento, etc., podrán ser vistos y analizados en pleno funcionamiento.

En lo referente a las prácticas el alumno estará en capacidad de realizar: cálculos de carga, diseños de ductos de distribución de aire, mezcla de aire, operaciones de enfriamiento con diferentes condiciones de aire de retorno, mezclas de corrientes de aire, cálculo de humedad, representación gráfica y análisis de los diferentes procesos psicrométricos en la carta psicrométrica, etc.

Por lo antes expuesto, esperamos haber podido aportar de una manera positiva al desarrollo profesional de nuestros estudiantes y técnicos que hagan uso de este laboratorio.

INTRODUCCION

El aire acondicionado es tan antiguo como el hombre, la gente primitiva busco siempre protegerse para mantener su confort, los romanos diseñaron

la calefacción y ventilación en sus baños, en la edad media Leonardo Da Vinci construyó un ventilador acondicionado por agua.

Pero los adelantos técnicos se dan en el siglo XIX, donde Willis H. Carrier (1876-1950) presenta su trabajo sobre las propiedades del aire, siendo esta la base para la primera Carta Psicrométrica que actualmente es la autoridad en los cálculos fundamentales del aire acondicionado (Tomado del Manual de Aire Acondicionado y Refrigeración, Tomo II, pag. 357).

Hoy en día el acondicionamiento de aire puede ser definido como la obtención de aire fresco, control de temperatura y humedad, polvo y olores, y la circulación de aire en un espacio controlado determinado por métodos mecánicos.

Los equipos de aire acondicionado juegan un papel muy importante en la obtención de un medio ambiental confortable en todo tipo de edificios (Ej: oficinas, fábricas, hospitales, hoteles, etc.); así como también en el transporte terrestre, aéreo y marítimo. El aire acondicionado tiene también aplicación amplia en actividades en la que el factor de bienestar humano juega un papel secundario (Ej: almacenaje de obras de arte, ensamblaje de aparatos delicado, cría de animales, horticultura, etc.). Los equipos de aire acondicionado incorporarán, en su mayoría los siguientes componentes:

- Calentador.- Para incrementar la temperatura del aire.
- Serpentín de enfriamiento.- Para reducir la temperatura del aire.

- Humidificador.- Para aumentar el contenido de vapor de agua en el aire.
- Deshumidificador.- Para reducir el contenido de vapor de agua en el aire.
- Equipo de refrigeración.- Para funcionar conjuntamente con el humidificador y deshumidificador.
- Caldera.- Para suministrar vapor o agua caliente al humidificador y calentador.
- Ventilador.- Para hacer circular el aire y generar suficiente presión para sobrepasar.
- Ductos.- Para distribuir el aire.
- Compuertas.- Para controlar la distribución y permitir la recirculación de aire acondicionado mezclado con una porción de aire fresco.
- Deodorizador.- Para eliminar olores presentes en el aire circulando.
- Filtro.- Para eliminar el polvo.
- Instrumentación.- Para verificar y controlar el estado del aire.

Controles.- Para regular los niveles de calor y frío y otros procesos para obtener las condiciones deseadas.

CONTENIDO

1. EQUIPOS

1.1 TORRE DE ENFRIAMIENTO

Este dispositivo que forma parte del laboratorio mezcla dos flujos uno de los cuales es el agua caliente proveniente del intercambiador de calor de la manejadora de aire y el otro es una corriente de aire atmosférico generada por un ventilador.

En este intercambiador de calor se baja la temperatura del agua en un fenómeno semejante a la saturación adiabática.

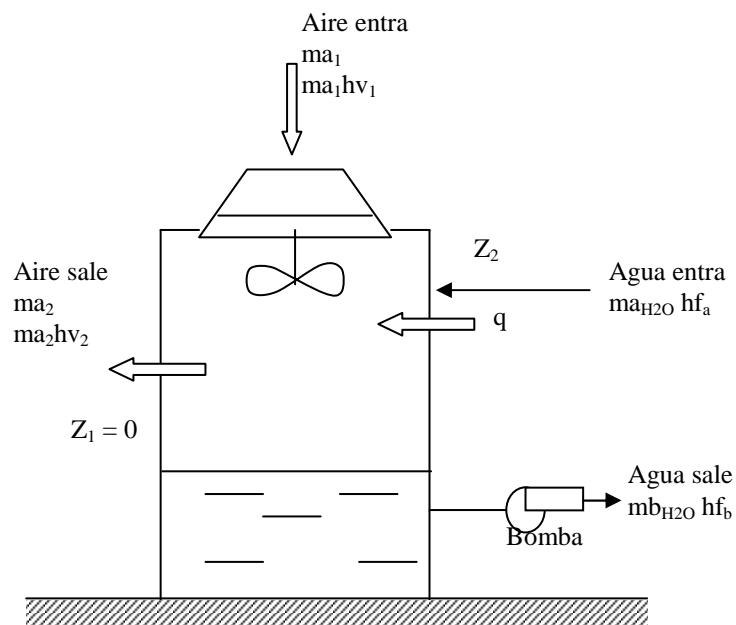


FIGURA 1.1 TORRE DE ENFRIAMIENTO

Se asume que no existe cambio de masa o energía almacenada dentro de las fronteras del volumen de control.

1.2 TUBERIA

1.2.1 TUBERIA DE ALIMENTACION Y RETORNO

La tubería utilizada es de hierro negro cédula 40 con diámetros de 3 ½", 2" y 1" a lo largo del circuito de 87 metros, incluye los siguientes accesorios:

10 codos de 90 grados de 3 ½" .

02 codos de 90 grados de 2".

12 codos de 90 grados de 1"

02 válvulas angulares de globo convencional de 3 ½".

03 válvulas angulares de globo convencional de 2 ½".

02 válvulas angulares de globo convencional de 1".

02 T de 2".

04 T de 1".

02 termómetros.

02 manómetros

01 filtro.

No es necesario aislar la línea de tubería de agua de alimentación, debido a que no se ve afectada por áreas con temperaturas sobre 90° F, por lo que no existirá transferencia de calor desde el medio hacia las tuberías.

Las condiciones normales estarán entre los 60 y 90°F.

1.2.2 TUBERIA DE CONDENSADO

En los sistemas de unidades verticales, la tubería de condensado se instala próxima a la unidad. Se usa por lo general una manguera (baja presión) para conectar el condensado de la unidad con la tubería.

2.2.2 MANGUERA DE ALIMENTACION Y RETORNO

El uso de una adecuada manguera de presión para la alimentación y retorno del condensador, pueden proveer una larga vida libre de problemas en el servicio, siempre y cuando su instalación y el mantenimiento sea el correcto.

La selección apropiada y su instalación se resumen en los siguientes puntos:

1. Debe seleccionarse la longitud apropiada y tensión requerida entre los puntos de conexión. Es necesario proveer del suficiente seno a la manguera con el fin de absorber las contracciones y expansiones.
2. No debe exceder el radio mínimo mostrado en la tabla I, esto puede causar un colapso en la manguera.
3. No debe doblarse la manguera, esto ocasiona daños en el material de la misma.

4. Tanto en la alimentación como en el retorno deberá instalarse válvulas compuerta, con el fin de permitir un fácil mantenimiento.

TABLA I

DIMENSIONES Y PRESIONES DE OPERACION

I.D	Mínimo radio de curva	Trenza galvanizada		Trenza de acero inoxidable		Caucho	
		Presión de Operación	Presión de explosión	Presión de Operación	Presión de explosión	Presión de Operación	Presión de explosión
1/2"	2-7/8"	300	1200	375	1500	250	1000
3/4"	4-1/2"	225	900	--	--	--	--
1"	5-1/2"	175	700	--	--	--	--
1-1/4"	6-3/4"	150	600	--	--	--	--

1.3 BOMBA

Para impulsar un fluido de un punto a otro se necesita realizarlo a través de un sistema de tuberías, este impulso puede ser dado por la gravedad o por medio de una bomba (para nuestro caso).

La bomba deberá ser diseñada de acuerdo a las especificaciones técnicas de la manejadora de aire (caudal a través del serpentín de enfriamiento), del recorrido de las tuberías y accesorios de esta.

Para poder determinar la potencia (W) de la bomba necesitamos tener conocimiento de las leyes elementales del flujo de fluidos, el cual siempre estará acompañado de rozamiento de partículas del fluido entre sí y, consecuentemente, por la pérdida de energía disponible.

La ecuación general de la pérdida de presión, es conocida como la fórmula de Darcy, esto es: $h_L = (f L v^2 / D 2g)$. El Teorema de Bernoulli es una forma de aplicación de la ley de conservación de la energía al flujo de fluidos en una tubería; la energía total en un punto cualquiera por encima de un plano horizontal arbitrario fijado como referencia, es igual a la suma de la altura geométrica, la altura debido a la presión y la altura debido a la velocidad, es decir: $H = Z + P/\rho g + v^2/2g$.

A continuación obtendremos las caídas de presión de la tubería y accesorios, con el fin de poder aplicar la ecuación de energía para fluidos y obtener la potencia necesaria de la bomba.

TABLA II

CALCULO DE PERDIDAS EN TUBERIAS Y ACCESORIOS

CALCULO DE PERDIDAS EN
TUBERIA

Q (GPM)	T (°F)	$Re = 4Q / (3.1416) D U$ $h_f = f L V^2 / 2Dg = 8 f L Q^2 / (3.1416)^2 D^5 g$
15.4	80	

L (m)	L (pies)	D (pulgadas)	E/D en pies (adim.)	Re (adim.)	f	h _f (pies)
64.60	211.89	1	0.001800	55787.48	0.026	39.79
4.20	13.78	2	0.000900	2789 3.74	0.0 29	0.090
18.20	59.70	3.5	0.000514	1593 9.28	0.0 28	0.023
h_f total						39.90

CALCULO DE PERDIDAS EN ACCESORIOS

$$H_m = KV^2/2 = K Q^2 / 2(3.1416)^2 D^4$$

		D	F _T	K	h _m
ACCESORIOS	CANTIDAD	UL GA DA S			S
T	4	1	0.023	0.46	35.66
T	2	2	0.019	0.38	0.92
CODO 90°	12	1	0.023	0.69	160.47
CODO 90°	4	2	0.019	0.57	2.76
CODO 90°	10	3.5	0.018	0.54	0.70
VALVULA COMP.	2	1	0.023	0.18	6.98
VALVULA COMP.	3	2	0.019	0.15	0.5 5
VALVULA COMP.	2	3.5	0.018	0.14	0.04
h_m					208.07

Aplicando la ecuación de la energía al diagrama detallado a continuación y utilizando los resultados de la tabla II, podremos hallar la potencia de la bomba para este sistema; así tenemos:

$$P_1/\rho g + V_1^2/2g + Z_1 + W = P_2/\rho g + V_2^2/2g + Z_2 + h_f + h_m + h_s$$

Siendo: $V_1^2/2g = Z_1 = 0$

$$P_2 / \rho g = V_2^2 / 2g = (Q/A)^2 / \pi D^2/4, \text{ donde } D = 3.5''$$

$$V_2^2 / 2g = 0.0038$$

$$Z_2 = 0.91 \text{ m} = 3.0 \text{ pies}$$

$$h_f = 39.90 \text{ pies}$$

$$h_m = 208.07 \text{ pies}$$

$$h_s = 7.6 \text{ pies}$$

Luego: $W = 258.57 \text{ pies} * (\rho Q/550)$, ya que $1\text{HP} = 550 \text{ lb-pie/seg}$

$$\mathbf{W = 1.002 \text{ HP}}$$

2. TRANSMISION DE CALOR

2.1 CARGA TOTAL DE ENFRIAMIENTO

La carga de enfriamiento es la razón a la cual la energía tiene que ser removida para mantener la temperatura y la humedad deseada. La carga de enfriamiento generalmente va a diferir de la Ganancia de Calor debido a que la radiación solar generalmente es absorbida por la estructura y aparecería coincidiendo en el espacio un poco tarde.

A continuación realizaremos el cálculo de carga del laboratorio de aire acondicionado, para esto tomamos como ayuda el apéndice K donde se encuentra los planos del laboratorio. Para esta operación deberemos contabilizar por separado el calor sensible y latente ya que las ganancias de calor por lo regular ocurren de la siguiente manera:

- Radiación solar
- Conducción de calor a través de paredes exteriores e interiores
- Calor generado por personas, luces y equipos
- Aire por infiltración y ventilación

2.1.1 CALCULO DE CARGA DEL LABORATORIO

Datos:

<u>AREAS</u>	<u>ORIENTACION</u>	<u>ft²</u>	<u>MATERIAL</u>
Ventanas	SO	55.41	vidrio ordinario e = 1/8"
Madera	SO	215.73	prensada e = 1/4"
Pared lateral	NO	139.34	ladrillo rojo enlucido am-

Pared lateral	SO	139.34	bos lados e = 4" y 3/8"
Pared post.	NE	271.15	bloque de concreto e = 8"
Loza		286.64	enlucido ambos lados con
Piso		286.64	arena y cemento e = 5/8"

UBICACIÓN DEL LABORATORIO: 2.2° Latitud Sur
79.8° Longitud Oeste

ELEVACION : 20 ft

PRESION BAROMETRICA : 29.9 in Hg

TEMPERATURA DE DISEÑO : $T_{ODB} = 92^{\circ} F$
 $T_{OWB} = 80^{\circ} F$
 $T_{IDB} = 75^{\circ} F$

MES DE ANALISIS : Diciembre 12:00 Hrs

GANANCIA SOLAR EN VENTANAS

Apéndice D: $I_{DN} = 53$

$I_{DN} = 11$, corregido por estar a la sombra

Apéndice E: $F_v = 1$, para vidrio ordinario

Apéndice F: $U_v = 1.06 \text{ BTU/h ft}^2 \text{ }^{\circ}F$

$$G_v = I_{DN} \times A_v \times F_{\text{vidrio}} + U_v \times \Delta T \times A_v$$

$$G_v = 11 \times 55.41 \times 1 + 1.06 (92 - 75) 55.41$$

$$G_v = 2,217.50 \text{ BTU/h}$$

CALCULO DE CARGA EN PANELES DE MADERA

	RESISTENCIA (R) (h ft °F/BTU)
1. Superficie exterior (viento moderado)	0.17
2. Panel de madera prensada	2.38
3. Superficie interior	0.68
<i>TOTAL RESISTENCIA</i>	3.23

$$U = 1/R = 0.31 \text{ BTU/h ft } ^\circ\text{F}$$

$$q_M = U \times A_M \times \Delta T = 0.31 \times 215.73 \times (92 - 75)$$

$$q_M = 1,136.89 \text{ BTU/h}$$

CALCULO DE CARGA EN PAREDES

PARED POSTERIOR:

	RESISTENCIA (R) (h ft °F/BTU)
1. Bloque de cemento enlucido ambos lados	2.38
2. Superficie interior	0.68

TOTAL RESISTENCIA

4.01

$$U = 1/R = 0.25 \text{ BTU/h ft } ^\circ\text{F}$$

$$q_{NE} = U \times A_P \times \Delta T_{EQ} = 0.25 \times 271.15 \times (20.1)$$

$$q_{NE} = 1,362.53 \text{ BTU/h}$$

El mismo procedimiento se sigue para el resto de cálculos tanto de paredes, como piso y loza.

CARGA GENERADA POR PERSONAS Y LUCES:

$$\# \text{ Persona} = 10$$

Calor generado por personas en una actividad moderada = 450 BTU/h

$$q_{PERSONAS} = 10 \times 450 = 4,500 \text{ BTU/h}$$

Calor generado por 8 fluorescentes de 40 W cada una:

$$q_{LUCES} = (8 \times 40W) \times 1.25 \times 3.41$$

$$q_{LUCES} = 1,364.2$$

Los resultados se observan en la tabla III.

TABLA III

**CARGAS CORRESPONDIENTES A LAS DIFERENTES
AREAS DEL LABORATORIO**

ESTRUCTURA	CARGA (BTU/h)
Ventanas	2,217.50
Paneles de madera	1,136.89
Pared posterior	1,362.53
Pared lateral N.O	526.7

Pared lateral S.E	702.27
Piso	329.63
Loza	237.33
TOTAL	6,512.85

PERSONAS - LUCES	CARGA (BTU/h)
Calor generado por personas	4,500.00
Calor generado por fluorescentes	1,364.20
TOTAL	5,864.20

2.2 CALCULO DE DUCTOS

Hacemos referencia al método de Igual Fricción y que es el más usado para la determinación de dimensiones en ductos, para espacios donde se requieran bajas velocidades.

Así tenemos, que vamos a requerir una toma de aire exterior y otra interior, las cuales irán a lo largo del ducto de retorno. Para el ducto de suministro construiremos una línea con dos ramales de tal forma de distribuir los 2.000 CFM uniformemente. Adicionalmente uniremos el ducto de suministro y retorno para formar un by-pass con sus respectivos dampers.

CALCULO

Utilizaremos el ductulador de *LENNOX*, asumiendo el 0.1 de fricción por pie de longitud de ducto.

RETORNO:

- Ducto de 1.25 metros de longitud y de 20" x 24" siguiendo las dimensiones del retorno.
- Dos rejillas de 24" x 20".
- Un damper de 24" x 20"

SUMINISTRO:

- Ducto exterior E de 2 metros de longitud y de 12" x 24" para manejar un volumen de aire de 2.000 CFM.
- Ducto F de dos metros de longitud y de 14" x 20".
- Ducto G de 4.5 metros de longitud y de 16" x 8" para un manejo de 650 CFM, con un ramal de igual 16" x 8" que maneja 650 CFM.
- Ducto H de 1.5 metros de longitud y de 10" x 14" para 700 CFM.
- Ducto I o de by-pass de dos metros de longitud y de 14" x 20" con capacidad para recircular 2.000 CFM.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez alcanzado el objetivo propuesto al inicio de esta tesis, como es el diseño y montaje del laboratorio de aire acondicionado, así como la elaboración de la Guía de Prácticas para los estudiantes, podemos manifestar lo siguiente:

- Una vez realizadas las diferentes prácticas bajo condiciones que no son las de diseño, ya que desde un principio contábamos con un equipo de 60.000 BTU/h que maneja un caudal máximo de 2000 CFM y uno mínimo de 1500 CFM, para un laboratorio donde su carga máxima es de 12.000 BTU/h o 1 TN de refrigeración (sin considerar cargas por introducción de aire exterior); los resultados obtenidos no reflejan la realidad de los requerimientos para tales condiciones de diseño. Sin embargo, la Guía de Prácticas elaborada es para desarrollar en el estudiante la habilidad en el manejo de la tabla psicrométrica, así como su entendimiento y razonamiento de los principales procesos psicrométricos. Adicionalmente, esta Guía de Prácticas permite jugar con las diferentes variables, tales como: volumen de aire, temperaturas de diseño del cuarto acondicionado, porcentajes de by-pas y aire del exterior, etc.
- Los cálculos de carga, aunque no se encuentran dentro de la Guía de Prácticas, también forman parte del trabajo a desarrollar por los estudiantes, a tal punto que estarán capacitados para realizar cálculos psicrométricos para condiciones de diseño real y compararlos con las obtenidas en el laboratorio.
- Se hace necesario insistir en que el estudiante que utilice el laboratorio para la realización de prácticas, tenga pleno conocimiento de su funcionamiento, que empieza desde el panel de energía, controles de

válvulas, encendido de la torre de enfriamiento y bomba de recirculación, para finalmente realizar el encendido de la unidad.

Como una recomendación final que quedaría a consideración de la Facultad de Ingeniería Mecánica, sería la de habilitar a través de un programa similar, el sistema de climatización por recirculación de agua fría (chilled); a tal punto de establecer las diferencias entre este sistema y el ya instalado que es de expansión directa.

Como anexo a este artículo se presenta la GUIA DE LABORATORIO que será utilizado por los estudiantes que realicen las prácticas de aire acondicionado.