

CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE HUMIDIFICACIÓN ADIABÁTICA DE
AIRE PARA ENSAYOS EN EL LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN Y AIRE
ACONDICIONADO DE LA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

RUBEN AUGUSTO CARDENAS LLAMAS
CHRISTIAN DAVID HERNÁNDEZ MENDOZA

CORPORACION UNIVERSITARIA TEGNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
CARTAGENA DE INDIAS DT y DC

2003

CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE HUMIDIFICACIÓN ADIABÁTICA DE
AIRE PARA ENSAYOS EN EL LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN Y AIRE
ACONDICIONADO DE LA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

RUBEN AUGUSTO CARDENAS LLAMAS
CHRISTIAN DAVID HERNÁNDEZ MENDOZA

Trabajo de grado presentado como requisito

para optar al título de

Ingenieros Mecánicos

Director y Asesor

HARVEY PEREZ GONZALEZ.

Ingeniero Mecánico

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARTEGENA DE INDIAS, D. T. y C.

2003

Cartagena de Indias D. T. y C., Abril 11 de 2003

Señores:

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Atn. Comité de evaluación de proyectos.

Facultad de Ingeniería Mecánica.

Programa de Ingeniería Mecánica.

La Ciudad.

Respetados señores:

Muy comedidamente me dirijo a ustedes, con el objeto presentarles para su concepto y aprobación el trabajo de grado titulado **“CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE HUMIDIFICACIÓN ADIABÁTICA DE AIRE PARA ENSAYOS EN EL LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO DE LA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR.”**, en el cual actúe como asesor y se encuentra elaborado en su totalidad por los estudiantes **RUBEN AUGUSTO CARDENAS LLAMAS Y CHRISTIAN DAVID HERNANDEZ MENDOZA.**

Agradezco a ustedes,

Harvey Enrique Pérez González
c.c. 73'132.698 de Cartagena
Asesor y Director

Cartagena de Indias D.T. y C., Abril 11 de 2003

Señores:

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Atn. Comité de evaluación de proyectos.

Facultad de Ingeniería Mecánica.

Programa de Ingeniería Mecánica.

La Ciudad.

Apreciados señores:

A través de la presente nos permitimos hacer llegar a ustedes para estudio, consideración y aprobación, el proyecto de Trabajo de Grado titulado **“CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE HUMIDIFICACIÓN ADIABÁTICA DE AIRE PARA ENSAYOS EN EL LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO DE LA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR.”**.

Agradeciendo la atención prestada a la presente y en espera de una positiva respuesta.

Atentamente,


RUBÉN A. CARDENAS LL.
cc. 9'294.786 de Turbaco


CHRISTIAN B. HERNANDEZ M.
cc. 3'805.4873 de Cartagena.

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena de Indias D. T y C., Abril 11 de 2003

ARTÍCULO 107 DEL REGLAMENTO ACADÉMICO.

La Corporación Universitaria se reserva el derecho de propiedad de todos los trabajos de grado y no pueden ser explotados sin su autorización.

AUTORIZACIÓN

Cartagena de Indias, D. T. C. H., julio 1 de 2003

Nosotros RUBEN AUGUSTO CARDENAS LLAMAS y CHRISTIAN DAVID HERNANDEZ MENDOZA, identificados con números de cédulas 9`294.786 de Turbaco (Bolívar) y 3`805.483 de Cartagena, autorizamos a la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar para hacer uso de nuestro trabajo de grado y publicarlo en el catálogo online de la Biblioteca.


RUBEN A. CARDENAS LL.
cc. 9`294.786 de Turbaco


CHRISTIAN B. HERNANDEZ M.
cc. 3`805.4873 de Cartagena.

DEDICATORIA

A Dios, por iluminarme el camino del bien y darme la fortaleza en algunos momentos difíciles presentes en mi vida.

A mis padres por enseñarme buenos valores que me formaron como personas y me han llevado a ser quien soy hoy en día.

A mis hermanos por brindarme su apoyo.

A mi familia y demás personas que de una u otra forma han contribuido con este gran logro.

Gracias.

Rubén Augusto Cárdenas Llamas.

DEDICATORIA

A Dios, por regalarme cada uno de los dones que me han permitido conseguir esta meta.

A mi Mamá Chonchy, Mi Papá Pipa, mi hermana Cláu y mi hermano Rube; por haber labrado en mí la persona que hoy soy.

A mis hermanitos Pipe y Caro, por regalarme la sabiduría de ser niños.

A todos aquellos familiares y amigos que con su apoyo y cariño, han contribuido con esta y cada una de mis causas anteriores y que contribuirán en las que aun están por venir.

Christian David Hernández Mendoza

CONTENIDO

	Pág.
0. INTRODUCCIÓN	27
1. ¿QUE ES LA HUMEDAD?	29
1.1 ¿COMO SE MIDE LA HUMEDAD?	31
1.2 ¿PORQUE EL AIRE SECO ES UN PROBLEMA?	31
1.3 CONSECUENCIAS DE LA FALTA DE HUMEDAD	33
1.3.1 Deterioro de los materiales higroscópicos	33
1.4 PROBLEMAS CON LA ELECTRICIDAD ESTÁTICA	36
1.5 INFLUENCIAS EN LA SALUD Y EN EL CONFORT	39
1.6 OTROS EFECTOS NO DESEADOS	41
2 PSICROMETRÍA	42
2.1 PORQUE ESTUDIAR PSICROMETRÍA	42
2.2 CARTA PSICROMETRICA	42
2.3 TERMINOS BASICOS	43
2.3.1 Aire Atmosférico	43
2.3.2 Temperatura de bulbo seco.	44
2.3.3 Temperatura de bulbo húmedo	45

2.3.4	Temperatura de punto de rocío	45
2.3.5	Humedad absoluta	45
2.3.6	Humedad relativa	46
2.3.7	Humedad específica	46
2.3.8	Relación de saturación	47
2.3.9	Calor o Entalpía del aire	47
2.3.10	Calor sensible	48
2.3.11	Calor latente	48
2.3.12	Calor Total	49
2.3.13	Factor de Calor Sensible	49
3	CONSIDERACIONES BÁSICAS EN UNA INSTALACIÓN CON HUMIDIFICADORES	50
3.1	CONDICIONES RECOMENDADAS PARA DIFERENTES INDUSTRIAS	53
3.2	ELECCIÓN DEL SISTEMA DE HUMIDIFICACION	58
3.2.1	Sistemas isotérmicos	58
3.2.2	Humidificadores a electrodos sumergidos	58
3.2.3	Humidificadores por resistencia	59
3.2.4	Sistemas adiabáticos	59
3.2.5	Humidificadores centrífugos	60

3.2.6	Humidificadores atomizadores	61
3.2.7	Humidificadores ultrasónicos	62
3.3	HUMIDIFICADORES SUGERIDOS PARA DISTINTAS APLICACIONES	64
4	CICLO DE REFRIGERACIÓN SATURADO SIMPLE	66
4.1	PROCESO DE EXPANSIÓN	67
4.2	PROCESO DE VAPORIZACIÓN	68
4.3	PROCESO DE COMPRESIÓN	68
4.4	PROCESO DE CONDENSACIÓN	69
4.5	POTENCIA TEÓRICA	69
4.6	COEFICIENTE DE RENDIMIENTO	70
5	COMPONENTES DEL EQUIPO	71
5.1	VENTILADORES	71
5.1.1	TIPOS DE VENTILADORES	71
5.1.1.1	Ventiladores Axiales o Helicoidales	72

5.1.1.2 Ventiladores Centrífugos	73
5.2 FLUJO Y PRESIÓN. CURVAS DEL SISTEMA Y DEL VENTILADOR	75
5.2.1 Curva Característica del Sistema	76
5.2.2 Curva característica del Ventilador:	77
5.3 SELECCIÓN DEL VENTILADOR	78
5.4 DISPOSICION O ACOPLAMIENTO DEL VENTILADOR	80
5.5 MOTORES	80
5.5.1 Selección de motores	81
5.5.2 La potencia del motor	82
5.6 REGULADOR DE VELOCIDAD	82
5.7 EVAPORADORES	83
5.8 CONDENSADORES	84
5.9 COMPRESORES	84
5.10 PRESOSTATOS	85
5.11 BOMBAS CENTRIFUGAS	87
5.11.1 Ventajas y desventajas	89

5.11.2 Selección de bombas	90
5.11.3 Selección del motor	91
5.12 RESISTENCIAS ELECTRICAS	91
5.12.1 Parámetros para la selección de resistencias	92
5.13 INDICADORES DE LÍQUIDO (VISORES)	92
5.14 SECADORES DE REFRIGERANTES.	93
5.14.1 Propiedades de los secadores	93
5.15 SEPARADOR DE ACEITE	94
5.16 MANOMETROS	96
5.16.1 Manómetros de columna de liquido	97
5.16.2 Indicadores de tipo Bourdon	100
5.17 REFRIGERANTES	102
5.17.1 Propiedades de los refrigerantes	103
5.17.2 Clasificación de los refrigerantes	103
5.17.3 Diferentes tipos de refrigerantes (características)	105
5.18 CAMARA DE ROCIO	111

5.19 BOQUILLAS ROCEADORAS	111
6 DISEÑO	112
6.1 CÁLCULOS DEL EQUIPO DE REFRIGERACIÓN	112
6.2 CALCULO DEL VENTILADOR	115
6.3 CALCULO DEL MOTOR DEL VENTILADOR	120
6.4 CALCULO DE LA BOMBA	120
6.5 CALCULO DE LAS BOQUILLAS	127
6.6 CALCULO DE LAS RESISTENCIAS ELECTRICAS	128
6.7 CAMARA DE ROCIO	129
7 GUIA DE LABORATORIO	130
7.1 PROCESOS DE HUMIDIFICACION: HUMIDIFICACION ADIABÁTICA	130
7.1.1 Objetivos	130
7.1.2 Marco Teórico	130
7.1.3 Experimentación:	132
7.1.4 Análisis del proceso	134
7.1.5 Observaciones	134
7.1.6 Conclusiones	134
7.1.7 Bibliografía	134
8 EXPERIMENTACION	135

8.1 ANALISIS DEL PROCESO SATURACION ADIABATICA	135
8.2 ANALISIS DEL PROCESO DE MEZCLA DE AIRE	136
9 MANUAL DE OPERACIÓN DEL PROTOTIPO DE HUMIDIFICACIÓN ADIABÁTICA DE AIRE	137
9.1 MANUAL DE OPERACIÓN	137
9.1.1 Guía De Operaciones	137
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	139
BIBLIOGRAFÍA	142
ANEXOS	143

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Variación de la HR al aumentar la temperatura	30
Figura 2	Porcentaje de humedad Relativa	40
Figura 3	Esquema del diagrama psicrométrico	43
Figura 4	Diagrama P-H, Ciclo compresión	66
Figura 5	Ventilador helicoidal	72
Figura 6	Ventilador centrífugo y tipos de rotor	74
Figura 7	Curva característica del sistema	76
Figura 8	Curva característica del ventilador	77
Figura 9	Punto de operación	79
Figura 10	Cambio de revoluciones con sistema constante	79
Figura 11	Evaporador con un circuito refrigerante en serie	83
Figura 12	Unidad condensadora enfriada por aire, empleando un moto compresor hermético.	85
Figura 13	Control de presión dual	86
Figura 14	Flujo a través de una bomba centrífuga	88
Figura 15	Curvas típicas para la selección de bombas	90
Figura 16	Secador de refrigerante	93
Figura 17	La presión que ejerce la atmósfera sobre el plato de mercurio abierto hace que este se eleve dentro del tubo	97
Figura 18	Manómetro tubo en U Presión atmosférica	98
Figura 19	Manómetro tubo en U presión de un recipiente	99
Figura 20	Manómetro tubo en U presión de vacío	99
Figura 21	Vista interior de un manómetro tipo bourdon	100
Figura 22	Manómetros Bourdon típicos, a) de presión, b) de vacío, c) combinado	101
Figura 23	Componentes del sistema	111
Figura 24	Diagrama presión-entalpía para R-12	112
Figura 25	Instalación Bombas, tuberías y accesorios	120
Figura 26	Arreglo de resistencias	129
Figura 27	Diagrama real del proceso de humidificación adiabática en la carta Psicrométrica	135

LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Renovaciones horarias para una vivienda	52
Tabla2	Algunos valores recomendados de temperatura y humedad	53
Tabla3	Humidificadores sugeridos para distintas aplicaciones	64

LISTA DE CUADROS

		Pág.
Cuadro 1	Rangos típicos de operación de un <i>Ventilador helicoidal</i>	73
Cuadro 1	Rangos típicos de operación de un <i>Ventilador centrífugo</i>	75

GLOSARIO

1. AIRE SECO: Es el aire atmosférico una vez eliminado el vapor de agua y los contaminantes.
2. AISLANTE: Cualquier material que conduce mal el calor o la electricidad y que se emplea para suprimir su flujo.
3. ATMÓSFERA: Es una mezcla de gases que se vuelve cada vez más tenue hasta alcanzar el espacio. Rodea al planeta tierra, impidiendo la entrada de radiaciones peligrosas del sol.
4. CAÍDA DE PRESIÓN: Pérdida de la presión debido a la fricción de una sustancia en una tubería.
5. CALEFACCION: Método que produce la elevación de la temperatura de una corriente de aire.
6. CAPACIDAD DE REFRIGERACIÓN: La facultad de un sistema de refrigeración, o parte del mismo, para eliminar calor. Se expresa con velocidad de eliminación de calor, y se mide usualmente en Btu/hora, o toneladas/24 horas.

7. **CAPILARIDAD:** La acción por la cual la superficie de un líquido en contacto con un sólido (como en un tubo de pequeño diámetro) se eleva o disminuye.
8. **CHILLER:** Unidad Enfriadora de Agua que opera mediante el ciclo de refrigeración a base de la compresión de un vapor, y lo que específicamente realiza es extraer el calor de un espacio y rechazarlo posteriormente a otro espacio seleccionado.
9. **COMPRESOR DE GAS:** También llamado bomba de gas, máquina que disminuye el volumen de una determinada cantidad de gas y aumenta su presión por procedimientos mecánicos.
10. **CONDUCCIÓN:** Es una forma de transferencia térmica según la cual, el calor viaja desde una región de temperatura elevada a otra de menor temperatura, pudiendo aparecer en los sólidos, en los líquidos y en los gases.
11. **CONTROL:** Cualquier dispositivo para la regulación de un sistema o componente en operación normal, manual o automática. Sí es de tipo automático, su aplicación se debe a que es sensible a los cambios de temperatura, presión u otra propiedad cuya magnitud debe ser regulada.
12. **DEPRESION DEL TERMOMETRO HUMEDO O DIFERENCIA PSICROMETRICA:** Es la diferencia de temperatura entre el termómetro seco y el termómetro húmedo.

13. DESHUMIDIFICADOR: Un refrigerador o purificador de agua que se usa para disminuir el contenido de humedad del aire que circula a través del mismo. Un dispositivo de absorción para eliminar la humedad del aire.
14. DESHUMIDIFICAR: Eliminar el vapor de agua de la atmósfera. Eliminar agua o líquido almacenado en cualquier artículo.
15. EFICIENCIA MECÁNICA: La relación de la potencia de salida de una maquina a la de entrada en unidades equivalentes.
16. ENERGIA: Capacidad de un sistema físico para realizar trabajo
17. ENTALPÍA: Cantidad de energí de un sistema termodinámico que éste puede intercambiar con su entorno.
18. ENTROPÍA: Función de estado que mide el desorden de un sistema físico o químico, y por tanto su proximidad al equilibrio térmico.
19. FLUIDO: Es una sustancia que se deforma continuamente al ser alterada por cualquier fuerza, por lo que fluye y se adapta a la forma del recipiente que la contenga. Los fluidos pueden ser líquidos o gases.

20. FLUJO TURBULENTO: Es aquel cuyas partículas se mueven en trayectorias arremolinadas muy irregulares creándose esfuerzos cortantes muy grandes lo que origina irreversibilidades y pérdidas en la velocidad del fluido.
21. FRÍO: El frío, por definición, no existe. Es simplemente una sensación de falta de calor.
22. HUMEDAD: Es la condición del aire con respecto a la cantidad de vapor de agua que contiene.
23. HIGROSCÓPICO: Materiales que absorben humedad.
24. HUMIDIFICADOR: Un dispositivo para añadir humedad al aire.
25. HUMIDIFICAR: Añadir vapor de agua a la atmósfera; añadir vapor de agua o humedad a cualquier material.
26. MANOMETRO: Son instrumentos que se usan para medir la presión de un fluido líquido o gaseoso.
27. MOTOR ELÉCTRICO: Máquina que convierte la energía eléctrica en movimiento o trabajo mecánico.

28. **PRESIÓN:** En mecánica, fuerza por unidad de superficie que ejerce un líquido o un gas perpendicularmente a dicha superficie.
29. **PRESIÓN ESTÁTICA:** Es la fuerza por unidad de superficie que aparece cuando las partículas de gas están “estáticas” respecto de la superficie.
30. **PRESIÓN TOTAL:** En el flujo de fluido, la suma de la presión estática y la presión debido a la velocidad.
31. **PROCESO ADIABÁTICO:** En termodinámica, cualquier proceso físico en el que magnitudes como la presión o el volumen se modifican sin una transferencia significativa de energía calorífica hacia el entorno o desde éste.
32. **REFRIGERANTE:** La sustancia para transferir calor a un sistema de refrigeración que absorbe calor por evaporación a temperatura baja y lo libera condensándolo a temperatura más alta.
33. **RESISTENCIA ELÉCTRICA:** La oposición al flujo de corriente eléctrica medida en ohmios.
34. **TEMPERATURA:** Se puede describir como la sensación de tibio o frío que se experimenta al estar en contacto con un objeto.

35. TONELADA DE REFRIGERACIÓN: La refrigeración equivalente al fundido de una tonelada de hielo cada 24 horas 73.000 Kcal/día, 12.000 BTU/h.
36. VÁLVULA: Dispositivo que regula el caudal de un líquido o gas.
37. VAPOR: Agua en la fase gaseosa.
38. ZONA DE CONFORT: Son unas condiciones dadas de temperatura y humedad relativa bajo las que se encuentran confortables la mayor parte de los seres humanos. Estas condiciones oscilan entre los 22° y los 27° C. (71-80° F) de temperatura y el 40 al 60 por 100 de humedad relativa.

RESUMEN

TÍTULO.

CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE HUMIDIFICACIÓN ADIABÁTICA DE AIRE PARA ENSAYOS EN EL LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO DE LA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

AUTORES.

CARDENAS LLAMAS Rubén Augusto y HERNÁNDEZ MENDOZA Christian David.

OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.

Construir y poner en marcha un prototipo de Humidificación Adiabática de Aire para los Laboratorios de Refrigeración y Aire Acondicionado de la Tecnológica de Bolívar, con el fin de estudiar y analizar las diferentes operaciones de Transferencia de Masa durante el proceso, para la creación de una guía de laboratorio que incluya las diferentes experiencias relacionadas con la variación de parámetros como temperatura, humedad y flujo de aire.

METODOLOGÍA.

Investigación aplicada y de desarrollo tecnológico a fin aplicar nuevos procesos al mejoramiento de la calidad de vida del ser humano y de los productos de la industria en general.

RESULTADOS.

Al llevar a cabo este proyecto, se logró estudiar todas las experiencias concernientes a los procesos de acondicionamiento de aire para confort y mejoramiento de los procesos de la industria en general.

Basándonos en esto se logró el diseño y la construcción de un prototipo de un sistema de humidificación adiabática que básicamente integra:

- ? Sistema simple de refrigeración.
- ? Ventilador.
- ? Bomba Centrifuga.
- ? Cámara de roció.
- ? Resistencias eléctricas.

Con los cuales hemos podido analizar de una forma física la humidificación del aire e identificar, todas las variables que gobiernan este fenómeno, para luego formular una guía de laboratorio para su desarrollo con el fin de aprender a obtener el índice de calor total de un chorro de aire a través de su temperatura de bulbo húmedo.

DIRECTOR Y/O ASESOR.
Harvey Enrique Pérez González

LISTA DE ANEXOS

		Pág.
Anexo - 1	Diagrama presión-entalpía para R-12	144
Anexo - 2	Propiedades del refrigerante 12, líquido y vapor saturado	145
Anexo - 3	Carta Psicrométrico °F	146
Anexo - 4	Diagrama Psicrométrico °C	147
Anexo - 5	Curvas características del ventilador	148
Anexo - 6	Bomba Centrífuga	149
Anexo - 7	Curva característica de la bomba	150

0. INTRODUCCIÓN

El aire atmosférico, podemos decir que es una mezcla binaria de dos componentes: Aire seco y vapor de agua. El peso de este último es inferior al 3% del peso del conjunto incluso en los climas más húmedos, pero su presencia tiene una importancia fundamental ya que tiene un efecto considerable sobre el confort humano y sobre la mayoría de los procesos industriales. Además de estos dos componentes el aire atmosférico contiene un gran número de contaminantes tales como polen, humo y otros gases que se encuentran con porcentajes más elevados en el aire cercano a las fuentes de contaminación.

Al aire atmosférico por estar compuesto de aire seco y vapor de agua también se le conoce como aire húmedo. La cantidad de vapor de agua contenido en el mismo depende de las condiciones de presión y temperatura. Por lo tanto variando esos parámetros, el aire puede incorporar vapor de agua o desprenderlo a través de la condensación. Cuanto más caliente está el aire, puede contener mayor cantidad de humedad. Este es el porqué el término incluye la palabra "relativa" en su descripción: el porcentaje es relativo a la temperatura.

Una baja humedad relativa en el interior de un recinto tiene efectos devastadores en la salud de las personas así como para las distintas industrias papeleras, textiles, alimenticias, laboratorios, oficinas, museos, etc. al aumentar las descargas electrostáticas o aquellas relacionadas con materiales que adsorben agua.

La única forma de evitar estos problemas es estabilizando el ambiente o controlando la humedad relativa. Esta es una de las razones por las cuales el control de la humedad relativa se está convirtiendo en una parte muy importante de la calidad del aire interior.

Lo que nos lleva a Deshumidificar cuando el aire es muy húmedo y humidificar cuando se seca demasiado. Con respecto a esto, el término "Acondicionamiento de Aire" Se ha establecido que es el resultado de la combinación en grado adecuado, bajo control automático y sin ruidos molestos, de estas funciones para proporcionar la atmósfera interior más saludable y confortable para la vida de las personas y el mejoramiento de los distintos procesos industriales.

1 ¿QUE ES LA HUMEDAD?

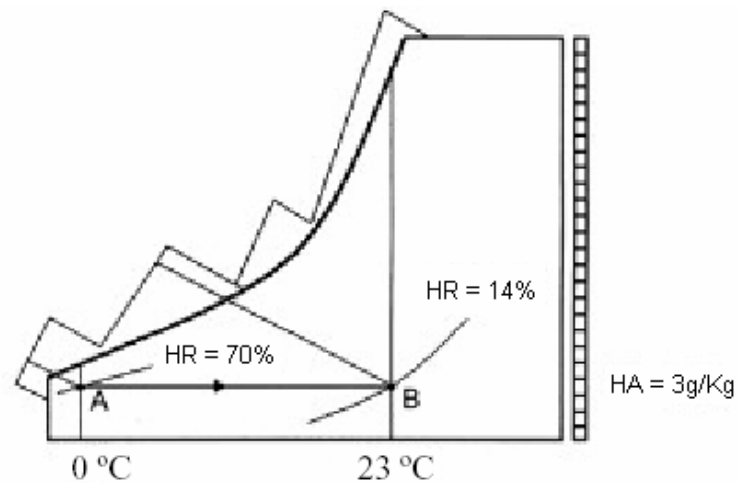
La humedad es simplemente el vapor de agua contenido en el aire.

La Humedad Relativa como veremos posteriormente es la cantidad de agua contenida en el aire a determinada temperatura comparada con la cantidad máxima de vapor de agua que puede contener el aire a esa temperatura cuando está saturado.

Por ejemplo, a 23°C un metro cúbico de aire puede contener hasta 21,2g. de vapor de agua. Si un metro cúbico de aire contiene 10,6g. de vapor de agua se dice que está al 50% de humedad relativa. Si ese mismo metro cúbico de aire contiene 10,6g a 23°C, esto se compara con la cantidad máxima de vapor de agua que puede contener a esa temperatura: $10,6g / 21,2g = 0,50$ (50%). De acuerdo con esto el aire posee una humedad relativa del 50%.

La cantidad de agua que un metro cúbico de aire puede retener varia con su temperatura, aumentando a medida que la temperatura del aire aumenta. Esto se debe al hecho de que el aire se expande a medida que se calienta y se contrae a medida que se enfría. De acuerdo con esto, mientras que 1 m³ de aire a 23°C puede retener 21,2g, de vapor de agua, el mismo m³ de aire a 0°C puede retener sólo 4,5g, de vapor de agua. Por lo tanto si se tiene 1 m³ de aire a 0°C y 70% HR (3g.) y se aumenta su temperatura a 23°C sin agregar vapor de agua,

terminará con: $3g. / 21,2. = 0,14$ (14% HR). Esta condición resulta muy similar a la del desierto del Sahara, la cual ronda el 12% HR. Por supuesto que esto está muy por debajo de los mínimos recomendados "Fig. 1". Cabe aclarar que los valores indicados en el trabajo, son para la presión atmosférica normal (760mm de Hg.), y que los mismos, varían según varia dicha presión. Los diagramas Psicrométricos comunes están hechos para la presión normal, pero si variamos la altitud de lugar, varían notablemente y con ello la información que nos suministran.



Condiciones exteriores		
Temperatura	Humedad Rel.	Humedad Abs.
0 °C	70 %	3g/kg

Condiciones interiores		
Temperatura	Humedad Rel.	Humedad Abs.
23 °C	14 %	3g/kg

Figura 1 - Variación de la HR al aumentar la temperatura

1.1 ¿COMO SE MIDE LA HUMEDAD?

El instrumento utilizado para medir la humedad es el **psicrómetro** que consta de dos termómetros: el seco que mide la temperatura real, y el húmedo o mojado, llamado así porque su depósito está rodeado por una muselina (tela) humedecida. Sobre la tela se evapora más o menos agua según que la humedad atmosférica sea menor o mayor respectivamente. Es decir que la evaporación será mayor cuanto menor sea la humedad relativa. El agua para evaporarse toma calor del termómetro mojado y esto hace que descienda su temperatura. Con la lectura de los dos termómetros y tablas confeccionadas para tal efecto; se deduce la humedad relativa.

Otro instrumento es el **higrómetro**. El higrómetro de cabello utiliza el alargamiento que experimenta el cabello con la humedad, para efectuar una medición aproximada. El higrómetro **electrónico** mide el cambio de las propiedades eléctricas con la humedad.

1.2 ¿PORQUE EL AIRE SECO ES UN PROBLEMA?

Cuando la temperatura exterior cae por debajo de la temperatura interior, como en invierno, el resultado es que el aire frío y húmedo que ingresa al calentarse se seca. Este aire seco, por ejemplo, absorbe la humedad de los materiales en el edificio, le quita humedad a todo lo que entre en contacto con él, tratando de alcanzar el "equilibrio" (punto en el cual el material no gana ni pierde humedad). Este aire con tan baja humedad relativa es lo que causa los conocidos resecamientos de nariz y garganta, resquebrajamientos de la madera y

de otros materiales y las descargas electrostáticas, esta misma condición de aire seco puede producirse también por el enfriamiento del aire por debajo de su punto de rocío, removiendo de esta manera el vapor de agua (deshumidificando). Esta condición también puede ocurrir en un sistema de aire acondicionado o refrigeración.

Ejemplo del problema: Si se toma una madera del exterior que se ha estabilizado con el contenido de vapor de agua del aire exterior, y se la coloca en el interior de un edificio calefaccionado con una menor humedad relativa, la madera comenzará a entregarle vapor de agua al aire seco del edificio, a medida que la madera empieza a perder humedad por sus extremos, estos empiezan a contraerse y separarse resquebrajándose.

Este mismo daño puede ocurrirle a papeles, telas, algunos plásticos, porcelanas, frutas y vegetales y otros materiales que tienen la habilidad de absorber o entregar vapor de agua. Tales materiales se denominan higroscópicos (absorben agua). Los materiales higroscópicos siempre buscan alcanzar el equilibrio con el ambiente.

La clave para la protección de los materiales higroscópicos es la estabilidad del ambiente. Es sumamente perjudicial permitir que la humedad relativa varíe muy rápidamente o que tenga varios saltos a lo largo del año. Esta es una de las razones por la cual el control (o la estabilización) de la humedad relativa se está convirtiendo en una parte tan importante de la calidad del aire interior.

1.3 CONSECUENCIAS DE LA FALTA DE HUMEDAD

1.3.1 Deterioro de los materiales higroscópicos

Impresiones. El papel llega a las imprentas en rollos, acondicionados con determinado contenido de humedad y envueltos en una barrera de vapor para retener esta humedad. Tan pronta como se remueve el envoltorio, el papel empieza a perder humedad cediéndola al aire que lo rodea si éste está más seco, o a recibir humedad si éste está más húmedo. A medida que el papel absorbe humedad sus células se expanden, y por el contrario se comprimen cuando pierde humedad. Un rollo de papel único puede cambiar sus dimensiones varios centímetros.

Cuando un rollo de papel es ubicado en una prensa y empieza a atravesarla perderá humedad rápidamente. Si se fueran a imprimir varios colores, estos colores pueden imprimirse en lugares erróneos causando una "mala superposición de colores" debido al cambio de las dimensiones del papel. Muchos imprenteros ajustan los rodillos para compensarlo, pero si la humedad cambia durante el día, entonces se necesitaría ajustar los rodillos frecuentemente causando pérdidas de papel, tiempo y velocidad del producto.

Trabajos en madera. Nuevamente, la madera se contrae a medida que se seca, causando agrietamientos, resquebrajamiento y combaduras. La madera seca también absorbe el solvente de las terminaciones produciéndose una apariencia granulosa desagradable. Por otro lado, las uniones encoladas se vuelven inestables ya que el solvente de la cola es absorbido por la madera seca antes de que cure adecuadamente.

Textiles. A medida que las fibras corren a través del telar, si están secas, se volverán frágiles y quebradizas causando roturas, demoras y reducción en la velocidad de producción. Un segundo efecto colateral es que las fibras rotas llenan de hilachas el aire, causando deterioros en la calidad del aire por debajo de los estándares. Esto es particularmente importante en fábricas de algodón donde se frena la fabricación, Una adecuada humidificación reduce la rotura de las fibras, el polvo en el aire, y también tiene como resultado una mayor velocidad de la maquina.

Oficinas. En las oficinas generalmente hay muebles de madera costosos, paneles y alfombras que deben tratarse cuidadosamente. El aire seco en invierno agrietará los escritorios y paneles. Las alfombras están hechas con fibras y a medida que estas se secan se rompen simplemente por el tráfico de las personas. Esto aumenta la cantidad de polvo en el aire y también lleva a un prematuro desgaste de las alfombras.

Además, en lo que se refiere a la calidad del aire interior, con una humidificación adecuada, varias consecuencias tienen lugar,

1. La cantidad de polvo en el aire disminuye debido a la menor rotura de fibras y también debido a la aglomeración de las mismas, causando partículas de mayor tamaño que son más fácilmente retenidas en los filtros, y porque los filtros mismos, que son higroscópicos, trabajan mejor.

2. Disminución de los niveles explosivos, ya que con una adecuada humidificación se puede reducir los niveles de evaporación de solventes y por lo tanto su presión. Aun más que con la ventilación.

Fabricación de microchips. Los chips de hoy en día son cada vez más pequeños, los fabricantes ya no están hablando de micrones sino de ángstrom. Aun un mínimo cambio en las dimensiones podría ser desastroso. Por lo tanto el control de la humedad se ha vuelto crítico para los fabricantes de alta tecnología.

Equipos electrónicos. Equipos electrónicos de procesamiento de datos requieren una humedad relativa controlada. Una alta humedad relativa puede causar condensación en el equipo, mientras que una humedad relativa baja promueve la electricidad estática.

También, se deben evitar variaciones muy rápidas de la humedad relativa debido a su efecto en lectores de códigos de barra, cintas magnéticas, discos y equipos de procesamiento de datos. Generalmente los centros de cómputo tienen un rango de diseño recomendado de 35 a 55%. De todos modos, siempre hay que tener en cuenta la recomendación del fabricante para cada equipo específicamente.

Museos. Obviamente por la seguridad de las costosas obras de arte, la adecuada estabilización del ambiente es esencial para la preservación por largos períodos de muchos materiales. Los lienzos de las pinturas que cambian de dimensión constantemente,

cuartearán la pintura. Cualquier pieza de madera será destruida en un corto plazo cuando el aire seco comienza a resquebrajarlos.

Alimentos. Las carnes retienen su color rojo SIN NITRATOS, si se mantienen humidificadas adecuadamente. Una vez que un vegetal o fruta pierde humedad, la celda se rompe, por lo tanto, la humidificación posterior no ayuda, Es importante para los alimentos ser humidificados desde el momento en que son almacenados hasta el momento de ser elegidos por el consumidor.

1.4 PROBLEMAS CON LA ELECTRICIDAD ESTÁTICA

Todos hemos experimentado, en alguna ocasión, shocks electrostáticos no placenteros o desagradables de muebles metálicos de oficinas o equipo de computación.

Esta es la evidencia tangible de cargas electrostáticas y generalmente la primera indicación de su presencia. Ocurre principalmente por el uso de fibras hechas por el hombre en cortinas y alfombras combinado con periodos de baja humedad relativa.

Las cargas electrostáticas son generadas cuando hay rozamiento entre materiales con resistencia eléctrica alta. La acumulación de tales cargas puede tener una variedad de resultados:

- ? chispas desagradables causados por la fricción entre dos materiales (Ej. Pies con medias y fibras de la alfombra).

- ? dificultad en el manejo de hojas de papel, fibras, y otros.
- ? destrucción de datos almacenados en discos y cintas magnéticas que requieran ambientes específicamente controlados.
- ? situaciones peligrosas en presencia de gases explosivos, como en hospitales, laboratorios, o salas de limpieza industrial.

Una carga electrostática en nuestro cuerpo puede llegar a ser de 20,000 volts, y cuando un objeto tal como un gabinete de metal es tocado, se descarga, usualmente acompañado de una chispa. El efecto, aunque desagradable no es peligroso pero puede perjudicar equipos electrónicos tales como computadoras y VDUs.

Aumentando la humedad relativa del ambiente se reduce la acumulación de cargas electrostáticas, pero el nivel óptimo de humedad depende hasta cierto punto de los materiales involucrados. Una humedad relativa del 45% reduce o elimina los efectos electrostáticos en muchos materiales, pero la madera y algunos materiales sintéticos pueden requerir una humedad relativa aún mayor.

Los quirófanos de los hospitales, donde mezclas explosivas de anestésicos son usadas, constituyen un caso crítico y especial. Generalmente requieren una humedad relativa de por lo menos 50%, con instalaciones de tierra especiales y restricciones sobre el tipo de ropa utilizada por los ocupantes. Condiciones de 22°C y 55%HR son generalmente recomendadas para el confort y la seguridad.

Centros de cómputo. Obviamente, un mal control de la humedad en una sala de cómputos tiene como resultado la potencial aparición de cargas electrostáticas que pueden descargarse, provocando daños en la memoria y en los componentes del circuito.

Impresiones. Además del papel higroscópico utilizado en los procesos de impresión, existe el problema de la electricidad estática, El solvente de las tintas es absorbido por el aire seco, creando ambientes explosivos. En éste tipo de ambiente una pequeña descarga generaría un incendio. Por otro lado el aire seco del ambiente de un periódico puede desarrollar hasta 2.000.000 voltios en el cilindro a medida que el papel es alimentado.

Films plásticos. La producción de plásticos necesita el control de humedad para reducir los problemas de estática que causan la atracción de polvo y también los usuales problemas de los films plásticos que son atraídos por rodillos y máquinas.

Films fotográficos. La mayoría de los laboratorios fotográficos utilizan el control de la humedad para eliminar las descargas electrostáticas que pueden aparecer en las películas. Esto es especialmente importante cuando se considera las películas de rayos X de los hospitales.

1.5 INFLUENCIAS EN LA SALUD Y EN EL CONFORT

El efecto completo de la humedad relativa sobre todos los aspectos del confort humano, todavía no ha sido establecido. En lo que se refiere a confort térmico, generalmente se considera que para contrarrestar una baja humedad relativa se necesita una temperatura más elevada.

Una baja humedad relativa aumenta la evaporación desde las membranas de nariz y garganta, secando las mucosas del sistema respiratorio, además de resecar la piel y el cabello. Por lo tanto una humidificación adecuada reduce la evaporación en la superficie de la piel, las personas sentirán más calor cuando la humedad aumenta, permitiendo reducir la temperatura, disminuyendo de esta manera los gastos de energía requerida para calefaccionar, y disminuyendo el gradiente térmico entre la temperatura exterior y la interior.

El aumento de afecciones del sistema respiratorio durante los meses de invierno es generalmente vinculado a una humedad relativa baja. Estudios epidemiológicos han descubierto que los promedios de enfermedades respiratorias de los ocupantes de edificios con humedades relativas de entre 40 y 60% son muy inferiores comparados con aquellos de ocupantes de edificios con humedades relativas muy bajas,

Las humedades extremas son muy perjudiciales para el confort humano, la productividad y la salud. La Figura 2 muestra como el rango entre el 30 y el 60% (a temperaturas ambiente

normales) provee la mejor condición para la actividad humana. En esta zona, el crecimiento tanto de bacterias como de organismos biológicos y la velocidad a la cual ocurren las interacciones químicas se minimiza,

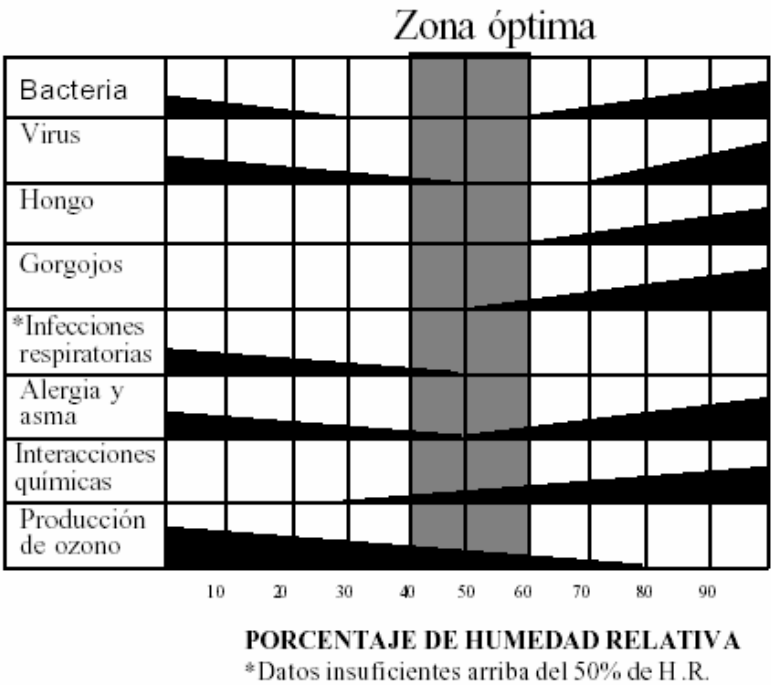


Figura 2 – Porcentaje de humedad Relativa

La Humedad Relativa tiene un efecto significativo sobre las enfermedades transmitidas a través del aire. Con una humedad relativa del 50% el promedio de mortalidad de ciertos microorganismos aumenta. Este promedio de mortalidad disminuye por arriba y por debajo de este valor. Por lo tanto la humedad relativa en espacios habitables debería mantenerse entre el 30 y el 60%.

Otro problema en la actualidad es la aparición de los lentes de contactos blandos. Como estos lentes son higroscópicos, absorben y evaporan vapor de agua del ojo. En una atmósfera muy seca, estos lentes se secarán muy rápido, curvándose, creando una situación incómoda. También al secarse esta superficie se crea una película muy fina que evita que los párpados limpien el lente al parpadear. Esta película facilita el crecimiento de proteínas y bacterias lo cual tiene como resultado las infecciones del ojo. De hecho, un estudio sobre estas infecciones debidas a lentes de contacto muestra un crecimiento muy marcado de estas en los meses de invierno.

1.6 OTROS EFECTOS NO DESEADOS

Transmisión de las ondas sonoras. La absorción de las ondas sonoras, que resulta directamente en la pérdida de fuerza del sonido, empeora con humedades relativas de entre el 15 y el 20%, y la pérdida aumenta cuanto más alta la frecuencia. Hay una marcada reducción en la absorción del sonido manteniendo una humedad relativa del 40%; sobre el 50%, este efecto es despreciable. La absorción del sonido en el aire no afecta significativamente el habla pero debe tenerse en consideración en halls amplios ó auditorios donde se requieren condiciones acústicas óptimas para performances musicales.

2 PSICROMETRIA

2.1 PORQUE ESTUDIAR PSICROMETRIA

La Psicrometría es el estudio de las mezclas de aire y vapor de agua. Puesto que el control de temperatura y humedad son las dos funciones más importantes de un sistema de aire acondicionado, es importante que entendamos como se comportan el aire y vapor de agua y como podemos utilizar su comportamiento para alcanzar nuestros objetivos en aire acondicionado. Esto es importante, no solo en el diseño de un nuevo sistema de acondicionamiento de aire, sino también en el diagnostico de fallas en un sistema existente.

2.2 CARTA PSICROMETRICA

Es una de las herramientas básicas utilizadas en la industria de la refrigeración. A primera vista, parece ser una red impresionante de líneas entrecruzadas, pero es la representación grafica de la relación matemática fundamental referente a las propiedades termodinámicas del aire húmedo y cuyo uso es muy simple.

La carta muestra la relación entre las siguientes propiedades del aire. Figura 3

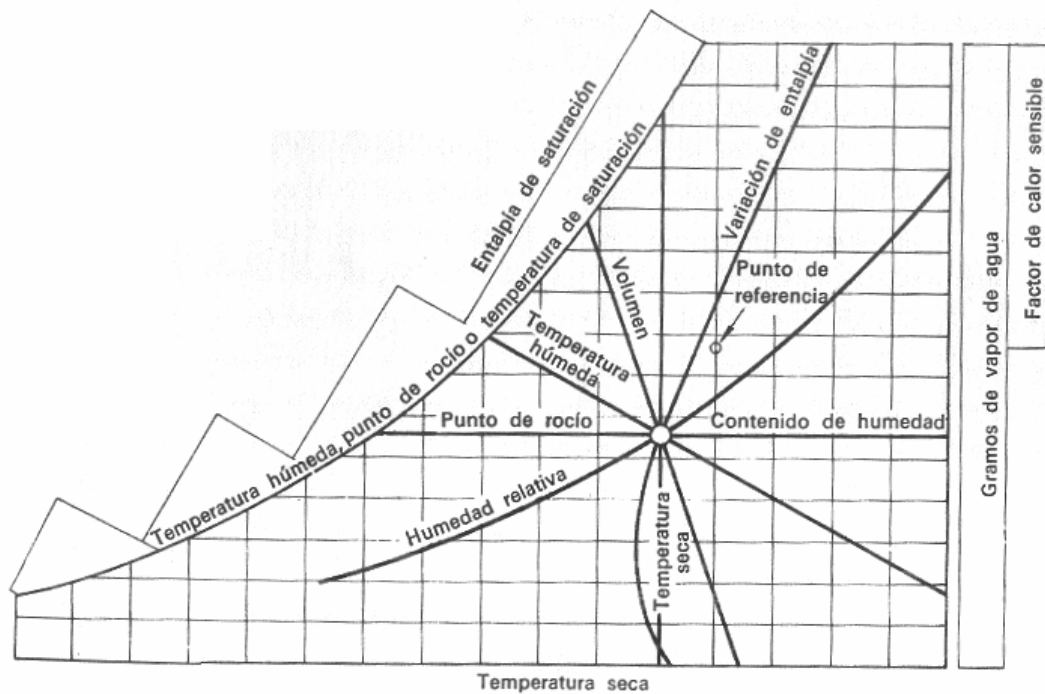


Figura 3 – Esquema del diagrama Psicrométrico

- ✍ Temperatura de bulbo húmedo.
- ✍ Temperatura de punto de rocío.
- ✍ Temperatura de bulbo seco.
- ✍ Humedad relativa.
- ✍ Humedad específica.

2.3 TERMINOS BASICOS

2.3.1 Aire Atmosférico: El aire alrededor de nosotros es una mezcla mecánica de gases secos y vapor de agua, cuya composición es Nitrógeno 78.03, Oxígeno 20.99, Argón 0.94, Dióxido de Carbono 0.03, Hidrógeno – Xenón - Criptón y Otros Gases

0.01. Para la mayoría de los cálculos, se puede considerar que aproximadamente el aire seco está constituido en volumen por 79% de Nitrógeno y 21% de Oxígeno. Los correspondientes porcentajes en peso son de 77% de Nitrógeno y 23% de Oxígeno.

Otro constituyente importante del aire es el vapor de agua. Este vapor generalmente se tiene como vapor sobrecalentado como un gas invisible. Sin embargo, cuando el aire es enfriado a cierta temperatura el vapor de agua contenido en el aire empieza a condensarse y puede ser visible como neblina o llovizna. El contenido de vapor de agua que puede contener la atmósfera, se incrementa grandemente cuando la temperatura aumenta. A cualquier temperatura dada la cantidad de vapor de agua puede variar prácticamente desde cero hasta la cantidad máxima que corresponde a dicha temperatura.

El vapor de agua contenido en el aire no sigue exactamente las leyes que gobiernan el comportamiento de los gases pero puede aplicarse con suficiente aproximación estas leyes para cálculos de Psicrometría.

2.3.2 Temperatura de bulbo seco: (BS) Es la temperatura con la que estamos más familiarizados puesto que se lee con un termómetro común y corresponde al calor sensible del aire expresado en grados Fahrenheit o Centígrados.

- 2.3.3 Temperatura de bulbo húmedo: (BH) Se mide con un termómetro de bulbo seco al cual se le coloca un trapo o paño mojado en el bulbo y al hacerlo girar disminuye la temperatura debido a la evaporación del agua, esta será siempre más baja que a temperatura de bulbo seco. Para mezclas de Aire-Agua, la temperatura de bulbo húmedo y la de saturación adiabática son iguales.
- 2.3.4 Temperatura de punto de rocío: (PR) Puede definirse como la temperatura a la cual el peso de vapor de agua asociado con cierto peso de aire es el adecuado para saturar dicho peso de aire, o es la temperatura de saturación correspondiente a la presión parcial del vapor de agua contenido en el aire. También puede definirse como la temperatura a la cual comienza la condensación del vapor de agua al reducir la temperatura de esta.
- 2.3.5 Humedad absoluta: (H) A una condición dada, se define como el peso de vapor de agua contenido en un metro cúbico de aire a esa condición. Puesto que el peso de vapor de agua contenido en el aire es relativamente pequeño, generalmente se mide en gramos, en el sistema inglés se mide en granos, (7000 granos equivalen a una libra).

$$H = \frac{M_v}{M_g} x \frac{P - p_v}{p_v} \quad (1)$$

$$H = \frac{\text{Masa de Vapor}}{\text{Masa de aire seco}} \quad (2)$$

Donde M_v y M_s , son los pesos moleculares del vapor de agua y del gas respectivamente.

P_v = Presión parcial del vapor (atm. o mm Hg.)

P = Presión total (atm o mm Hg.)

2.3.6 Humedad relativa: (H_R) Es expresada en porcentaje y corresponde a la relación entre la presión parcial real ejercida por el vapor de agua en cualquier volumen de aire y la presión parcial que ejercería el vapor de agua, si el vapor de agua contenido en el aire estuviera saturado a la temperatura del aire.

Se puede determinar de la siguiente manera:

$$H_R = \frac{\text{Presión parcial real}}{\text{Presión parcial de saturación}} * 100 \quad (3)$$

No obstante los valores de la humedad relativa tienen la desventaja de que dependen fuertemente de la temperatura del momento.

2.3.7 Humedad específica: (w) Es el peso de vapor de agua que se encuentra realmente mezclado con una Libra de aire seco y generalmente se indica en libras de vapor de agua por libra de aire seco.

$$w = \frac{0.622p_w}{p - p_w} \quad (4)$$

Donde,

p_w = Presión parcial del vapor de agua correspondiente a la temperatura de PR, en libras por pulgadas cuadrada absoluta.

p = Presión barométrica en libras por pulgadas cuadrada.

2.3.8 Relación de saturación: (HA) Es llamada algunas veces Humedad porcentual. Es la relación de la masa de vapor de agua en el aire por masa unitaria de aire seco a la masa de vapor de agua necesaria para la saturación de la misma muestra de aire.

$$\text{Relación de saturación} = \frac{w}{w_s} \times 100 \quad (5)$$

Donde,

w = Relación de humedad real en libras por libra de aire seco.

w_s = Relación de humedad a condición de saturación a la misma temperatura del aire en libras por libra de aire seco.

2.3.9 Calor o Entalpía del aire: Es una forma de energía y es como tal intangible, y no se puede medir directamente. El calor puede medirse solamente por sus efectos sobre una material, por ejemplo: Cambio de temperatura, color, estado, tamaño, Etc. En el sistema ingles la unidad comúnmente usada es la British Thermal Unit (BTU), que es la cantidad de calor requerida para cambiar la temperatura de una libra de agua en un grado Fahrenheit

2.3.10 Calor sensible: (C_s) Solo se refiere a un cambio en la temperatura, no causa ninguna modificación en el estado de la substancia. Se le denomina sensible porque puede percibirse con el sentido del tacto y se puede medir con un termómetro.

El calor sensible del aire es una función de la temperatura de bulbo seco.

$$h_s = (Ce)(BS) \quad (6)$$

$$h_s = (m)(Ce)(BS) \quad (7)$$

Donde

h_s = Entalpía especifica del aire (calor sensible del aire). (Btu/Lb)

h_s = Entalpía de aire seco (Calor total del aire). (Btu/ °F)

Ce = Calor especifico del aire (0.24 Btu/Lb°F)

2.3.11 Calor latente: (C_L) Es el que se extrae o se toma de una sustancia y que produce un cambio de estado en ella y no modifica la temperatura de la sustancia, durante el tiempo en que tiene lugar este cambio físico. Se denomina latente puesto que existe pero no se manifiesta exteriormente, es decir no puede percibirse con el sentido del tacto y no se registra con el termómetro.

El calor latente del aire es una función de la temperatura de punto de rocío.

$$H_L = (m)(w * h_w) \quad (8)$$

Donde H_L = Calor latente de cualquier masa dada de aire seco con una relación de humedad w en Btu.

h_w = Entalpía específica del vapor de agua del aire.

w = Relación de humedad en libras por libra.

2.3.12 Calor Total: (H_T) El contenido total de la mezcla de aire y vapor de agua se conoce como entalpía y es la suma del calor sensible y latente, expresado en Btu/lb de aire.

El calor total del aire es una función de la temperatura de bulbo húmedo.

$$h_T = h_S + h_L \quad (9)$$

2.3.13 Factor de Calor Sensible: (FCS) Es la relación del calor sensible entre el calor total transferido.

$$FCS = \frac{C_s}{C_T} = \frac{H_s}{H_T} \quad (10)$$

3. CONSIDERACIONES BÁSICAS EN UNA INSTALACIÓN CON HUMIDIFICADORES

La carga de humidificación depende principalmente de la infiltración natural del espacio a ser humidificado o la cantidad de aire exterior introducido por medios mecánicos. También se deben tener en cuenta otras fuentes que aporten vapor de agua o que lo absorban.

Para seleccionar el humidificador adecuado a la aplicación que se desea realizar, es necesario calcular el caudal de vapor necesario requerido por el ambiente, teniendo en cuenta una serie de factores que se indican a continuación.

- ? Volumen del local a humidificar (m³).
- ? Condiciones actuales del local [temperatura (°C) y humedad relativa (% HR)].
- ? Condiciones deseadas en el local [temperatura (°C) y humedad relativa (% HR)].
- ? Características de los materiales presentes en el interior (cantidad, factor higroscópico, número de personas).
- ? Tiempo deseado para la puesta en régimen.
- ? Eventuales ingresos de aire exterior (infiltraciones, apertura ocasional de puertas y ventanas).

- ? Cantidad de aire exterior por renovaciones (m^3/h).
- ? Condiciones exteriores de proyecto [temperatura ($^{\circ}C$) y humedad relativa (%HR)].
- ? Condensación del equipo de frío.

Gracias al diagrama Psicrométrico podemos obtener x (humedad absoluta: g vapor de agua/kg de aire seco) aporte que es necesario agregar al ambiente a humidificar para alcanzar la humedad relativa deseada.

Así, utilizando la siguiente fórmula se consigue el caudal de vapor necesario en kg/h:

$$Q = V * 1.2 * (x_f - x_i) / 1.000 = \text{kg/h} + Y \quad (11)$$

Donde:

Q = Caudal de vapor necesario en el ambiente en kg/h (asumiendo el peso específico a $4^{\circ}C$ igual a 1 kg/m^3 , los kg/h corresponden a Lts/h);

V = Volumen de aire (*);

1,2 = Peso específico del aire Kg/m^3 (condiciones a $21^{\circ}C$ y $1,013 \text{ bar}$);

x_i = Humedad absoluta del aire a humidificar grms/Kg.

x_f = Humedad absoluta deseada en el ambiente grms/Kg.

Y = Parámetro que tiene en cuenta los valores anteriormente nombrados no contemplado en la fórmula pero a considerarse en base al tipo de aplicación.

(*) Se pueden dar dos posibilidades:

1) Instalación con conductos: Se deberá indicar el caudal de aire exterior (m^3/h).

2) Instalación sin conductos:

2.a) Para ambiente sólo con aire de recirculación: $V = m^3$ del local, No tratando el aire de renovación, una vez conseguido el valor de humedad requerido, la instalación de humidificación trabajará muy poco sólo para mantener constante el grado de humedad. Es importante también, a fin de optimizar los costos cuando se trata de grandes potencias, verificar la necesidad de llegar a régimen en un tiempo más o menos largo.

2.b) Para ambientes con aire exterior de renovación: $V =$ volumen horario de aire exterior introducido en el ambiente. Volumen del local x Renovaciones Horarias (m^3/h).

Tabla 1. Renovaciones horarias para una vivienda

Características del local	N" Renovaciones por hora
Sin paredes exteriores (Renovación Mínima)	1
Una pared exterior con ventana normal	1
Dos paredes exteriores con ventana normal o una ventana grande	1.5

Con más paredes exteriores	2
----------------------------	---

3.1 CONDICIONES RECOMENDADAS PARA DIFERENTES INDUSTRIAS

Tabla 2. Algunos valores recomendados de temperatura y humedad

Industria	Temp.	Hum.
Bowlings	23 °C	50 %HR
Salas de billar	23 °C	45 %HR
Pan		
? Almacenamiento de la harina y el producto en polvo	24 °C	60 %HR.
? Fermentación (masa)	27 °C	75 %HR
? Retardo de la masa	2 °C	85 %HR
? Prueba final	42 °C	88 %HR
? Enfriamiento	24 °C	83 %HR
Elaboración de cerveza		
? Almacenamiento del lúpulo	-1°C	55 %HR
? Sala de fermento	°C	80 %HR
Chocolates		
? Aire de inyección durante la cocción	15 °C	50 %HR

? Sala de decoración	28 °C	28 %HR
? Aire de alimentación del túnel de refrigeración del chocolate	6 °C	78 %HR
? Sala de empaque y Almacenamiento del stock terminado	18 °C	50 %HR

Cerámicas

? Refractarios	55 °C	70 %HR
? Sala de moldeado	27 °C	65 %HR
? Sala de decorado	26 °C	48 %HR

Curado de quesos

? Cheddar	10 °C	88 %HR
? Swiss	16 °C	83 %HR
? Bhie	9 °C	95 %HR
? Brick	17 °C	90 %HR
? Limburger	17 °C	95 %HR
? Camembert	13 °C	90 %HR

Destilación

? Elaboración general	20 °C	52 %HR
? Añejamiento	20 OC	55 %HR
? Añejamiento en botella	15 "C	70 %HR

Productos eléctricos

? Bobinado de transformadores	22 °C	15 %HR
? Montaje de tubos de rayos-x	20 °C	40 %HR
? Montaje de Fusibles y disyuntor, bobinado de capacitores y almacenamiento de papel	23 °C	50 %HR
? Envoltura del conductor con estambre	24 °C	7 %HR
? Montaje ruptores de circuitos térmicos	24 °C	45 %HR
? Procesado de selenio y píaños de cobre oxidado.	23 °C	35 %HR

Centros de cómputos 22 °C 35-55 %HR

Almacenamiento de frutas

? Manzanas	2 °C	90 %HR
? Damascos	0 °C	93 %HR
? Pomelos	10 °C	88 %HR
? Uvas	0 °C	85 %HR
? Limones	15 °C	87 %HR
? Naranjas	6 °C	88 %HR
? Duraznos	-1 °C	90 %HR
? Ciruelas	0 °C	93 %HR
? Especialidad en frutas cítricas	4 °C	93 %HR

Almacenamiento de Pieles 7 °C 60 %HR

Goma

? Fabricación	25 °C	33 %HR
? Laminado	20 °C	63 %HR
? Corte en tiras	22 °C	53 %HR

Hospitales

? Quirófanos	22 °C	55 %HR
? Habitaciones de Pacientes	24 °C	45 %HR
? Unidad de cuidado intensivo	24 °C	40 %HR
? Ares de servicio y administrativas	24 °C	40 %HR

Cuero

? Secado	35 °C	75 %HR
? Almacenamiento	13 °C	50 %HR

Librerías y museos

? Salas de lectura	22 °C	45 %HR
? Bóveda para almacenamiento de manuscritos valiosos	22 °C	45 %HR
? Área de almacenamiento de obras de arte	20 °C	50 %HR

Carnes y pescados

? Bife (fresco)	1 °C	90 %HR
? Bife, pescado, cordero y cerdo (congelados)	-20 °C	93 %HR

? Pescado (fresco)	2 °C	93 %HR
? Cerdo y cordero (fresco)	1 °C	88 %HR
Productos farmacéuticos		
? Tabletas efervescentes y polvo	24 °C	20 %HR
? Tabletas hipodérmicas	24 °C	30 %HR
? Sustancias gelatinosas	21 °C	40 %HR
? Pastillas para la tos	27 °C	40 %HR
? Productos granulados	24 °C	8 %HR
? Fabricación de ampollas	24 °C	42 %HR
? Fabricación biológica y extractos hepáticos	24 °C	35 %HR
? Sueros	24 °C	50 %HR
Tabaco		
? Fabricación de agarros y cigarrillos	23 °C	60 %HR
? Suavizador	32 °C	87 %HR
? Acondicionamiento del relleno y de la envoltura	24 °C	75 %HR
? Preparación y almacenaje del relleno	26 °C	70 %HR
? Conservación de cigarros	18 °C	70 %HR

3.2 ELECCIÓN DEL SISTEMA DE HUMIDIFICACION

3.2.1 Sistemas isotérmicos: Transformación a temperatura constante ($\Delta T = 0$); durante el proceso de la humidificación; a medida que la humedad relativa aumenta, la temperatura se mantiene constante. En la humidificación isotérmica el vapor saturado suministrado ya se encuentra en estado gaseoso debido a la energía provista por el humidificador (corriente eléctrica, gas, carbón, etc.) y por lo tanto se mezcla con el aire sin ninguna dificultad.

3.2.2 Humidificadores a electrodos sumergidos. Su capacidad puede variar, por ejemplo, desde 1 Kg/h hasta 130 Kg/h. Esta puede ser la solución para cualquier sistema de aire acondicionado, Generalmente poseen controladores electrónicos que manejan el funcionamiento del humidificador y su sistema de alarmas, asegurando de esta manera una mayor vida para los cilindros y asegurando la esterilidad del vapor. También asegura el manejo de todos los parámetros y cualquier desperfecto con una optimización del consumo de energía.

Este tipo de humidificadores pueden ser utilizados en instalaciones con conductos con distribuidores lineales de acero inoxidable o directamente en el ambiente, si es que no se cuenta con conductos, utilizando distribuidores ventilados que se caractericen por la ausencia total de ruido y un agradable diseño. El mantenimiento suele ser muy sencillo, ya que poseen un drenaje que opera automáticamente en función de la concentración salina del agua.

Deberían permitir un fácil y rápido acceso a la parte eléctrica. El regulador de control debe poder ser revisado o sustituido rápidamente.

Estos humidificadores no pueden ser utilizados en lugares donde el agua sea extremadamente dura, ni tampoco en aplicaciones con aguas desmineralizadas.

- 3.2.3 Humidificadores por resistencia. El humidificador por resistencia produce vapor estéril y utiliza todo tipo de aguas: blandas, desmineralizadas y sin sales. Esta característica permite su uso en todo tipo de aplicaciones: en conductos o ambientes, para confort personal o para mantener el nivel ideal de humedad en procesos industriales y almacenamiento de productos.

Como son aptos para trabajar con aguas más duras, el elemento calefactor debería estar diseñado especialmente: por ejemplo con aletas de aluminio recubiertas con teflón, debería poseer un elemento filtrante dentro del cilindro generador de vapor y el cilindro debe poder ser reemplazado para limpieza sin la necesidad de deshacerse de las partes plásticas para asegurar un fácil uso y bajos costos de mantenimiento.

- 3.2.4 Sistemas adiabáticos: Transformación a calor constante ($\Delta Q = 0$); durante el proceso de la humidificación; a medida que la humedad relativa aumenta, la temperatura disminuye. En el caso de la humidificación adiabática, se entrega al ambiente agua atomizada y aunque se encuentre extremadamente atomizada, aún su

estado es líquido; la energía requerida para pasar del estado líquido al gaseoso es suministrada por el aire con la consecuente reducción en la temperatura.

3.2.5 Humidificadores centrífugos. Los humidificadores centrífugos son humidificadores adiabáticos provistos de un disco, el cual atomiza el agua para convertirla en una llovizna, la cual no deberá presentar gotas.

Esto resulta en un sistema de humidificación que es simple, económico, fácil de mantener y especialmente adecuado para una gran cantidad de aplicaciones, donde no se requiera el aporte de gran cantidad de litros de agua por hora, tales como:

- ? Cámaras frigoríficas y de almacenamiento de productos frescos (frutas y vegetales), donde la falta de humedad conduce a una pérdida de peso y deterioro del producto.
- ? Imprentas, donde niveles correctos de humedad deban ser mantenidos de modo de evitar variaciones en el tamaño del papel y consecuentes errores de impresión.
- ? Industrias textiles, donde el mantenimiento de la humedad es esencial en relación al proceso productivo y al tipo de material usado, y al mismo tiempo es necesario para eliminar el calor producido por las máquinas.

Como se trabaja con temperaturas cercanas a los 0°C e inclusive por debajo de los 0°C, se debe prestar especial atención a la existencia de algún sistema que evite el congelamiento del agua.

3.2.6 Humidificadores atomizadores. Los sistemas por atomización utilizan agua y aire comprimido para entregar agua finamente nebulizada. El sistema incluye dos componentes principales:

- ? Gabinete de control, capaz de controlar los litros de agua por hora. Estos gabinetes generalmente están disponibles para ser utilizados en aplicaciones ambiente (regulación On - Off ó modulante) ó en aplicaciones con conductos (regulación modulante con limite máximo de la humedad), preparados para trabajar con agua normal o desmineralizada.
- ? Toberas de acero inoxidable, autolimpiantes, disponibles en varios tamaños, con variadas capacidades de atomización 2,7 a 10 l/h.

Los atomizadores son particularmente adecuados para el control de la humedad en grandes áreas, donde el nivel de humedad requerido sea muy alto, ó donde la humedad sea utilizada para refrigerar el ambiente.

Producen cientos de litros de agua atomizada por hora en gotas de entre 58 m³ con un mínimo consumo de energía (aprox. 7 Kw. cada 100 litros de agua atomizada).

Además, el tratamiento adiabático del aire a través del sistema tiene la doble ventaja de producir humedad y simultáneamente refrigerar el aire del área controlada.

Las toberas deberían tener un sistema de auto limpieza automática para asegurar su total eficiencia y reducir el mantenimiento, además la estructura y el diseño de las mismas debe permitir modular (regulación proporcional) la cantidad de agua atomizada con respecto al valor ajustado en el humidistato hasta el cierre completo del agua. Todas las funciones del atomizador deben ser totalmente automáticas y comandadas por algún control electrónico de confiabilidad para aportarle alta performance al sistema.

En cuanto a las numerosas aplicaciones de este tipo de humidificadores se pueden mencionar, tanto en el mercado del aire acondicionado, de la refrigeración y también en el campo industrial: industrias textiles, de la madera, papeleras, alimentarias, tabacaleras y tipográficas; curtiembres, hospitales y cámaras frigoríficas.

3.2.7 Humidificadores ultrasónicos. Los humidificadores ultrasónicos han sido diseñados para humidificar y enfriar el aire, minimizando el consumo de energía. En cuanto a su lógica de funcionamiento se puede decir que es un transductor piezoeléctrico inmerso en agua, de esta manera, convierte la electricidad en vibraciones mecánicas de alta frecuencia las cuales generan olas de compresión y depresión donde el agua

es forzada a hervir a baja temperatura y presión, produciendo un spray extremadamente fino.

Se pueden enumerar las siguientes ventajas:

- ? Requerimientos reducidos de energía: 60W por litro de spray por hora, correspondiente con el 7% de la energía consumida por un humidificador tradicional.
- ? Uso de agua desmineralizada: Elimina los problemas de bacterias, mejorando la calidad del aire.

En cuanto a las aplicaciones, y gracias a las características mencionadas anteriormente, éste tipo de humidificador resulta la solución ideal para distintas aplicaciones: Unidades air handling, atmósferas controladas, laboratorios, cámaras frigoríficas, gabinetes de display y góndolas,

Los humidificadores ultrasónicos tienen dos desventajas potenciales: Deben utilizar agua desmineralizada ó agua tratada con osmosis inversa. El agua tratada reduce los costos de mantenimiento porque elimina los depósitos de calcio, pero aumenta otros costos de operación.

3.3 HUMIDIFICADORES SUGERIDOS PARA DISTINTAS APLICACIONES

Tabla 3. Humidificadores sugeridos para distintas aplicaciones

Aplicaciones	Isotérmicos			Adiabáticos		
	SC	SD	UR	AT	HM	UL
Ambientes "puros"						
? Ambientes estériles (quirófanos, etc.)	?	?	?			
? Ambientes limpios (deán rooms, etc.)	?	?	?	1		1
? Hospitales y Laboratorios	?	?	?	1		1
Ambientes civiles						
? Hogares	?	?	?			
? Saunas		?	?			
? Oficinas	2	2	2	3		
? Bibliotecas	4	4	4	3 - 4		3 - 4
? Museos						
Industrias alimenticias						
? Líneas de producción				5		
? Cámaras frigoríficas				?	?	?
? Ripening rooms				?	?	?
? Bread leavening	?	?	?			
? Maduración de quesos	?	?	?			
? Góndolas						?
? Bodegas		?	?	?	?	?

Otras aplicaciones industriales				
? Almacenamiento de maderas	?	?	?	
? Depósitos de papel			?	
? Imprentas	?	?	3	?
? Laboratorios fotográficos	?	?	?	?
? Textiles			?	
? Almacenamiento de tabaco				
Aplicaciones en granjas				
? Alimentación de animales			?	
? Invernaderos (hongos, etc.)			?	?

Referenciación:

1. Humidificar en conductos, utilizar sólo agua desmineralizada y realizar mantenimientos periódicos de acuerdo a ASHRAE 12 2000.
2. Vapor inyectado directamente cu el ambiente o dentro de un conducto.
3. Agua atomizada sólo en conductos.
4. No utilizar agua tratada con químicos que pueda acelerar el proceso de envejecimiento de documentos u obras de arte.
5. Agua precalentada a 70 °C para los Atomizadores y posiblemente utilizando agua desmineralizada.

Simbología

SC = Humidificadores por electrodos familiares.

SD = Humidificadores por electrodos industriales.

UR = Humidificadores a resistencia.

AT = Humidificadores atomizadores.

HM = Humidificadores centrífugos.

UL = Humidificadores ultrasónicos

4 CICLO DE REFRIGERACIÓN SATURADO SIMPLE

Un ciclo de refrigeración saturado simple es un ciclo teórico en el que se supone que el vapor refrigerante que sale del evaporador y entra al compresor es vapor saturado a la temperatura y presión vaporizante, y el líquido refrigerante que sale del condensador y llega al control de refrigerante es un líquido saturado a la temperatura y presión del condensante.

En tal ciclo, los procesos fundamentales son la base para entender e identificar con facilidad el ciclo de refrigeración real del vapor. En el diagrama P-H de la figura 4, se tiene el trazo de un ciclo saturado simple.

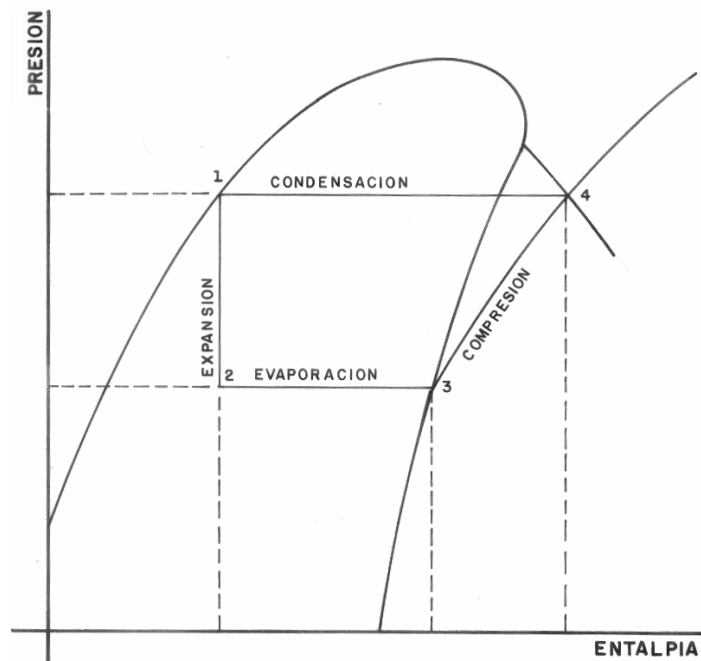


Figura 4 - diagrama P-H, ciclo compresión

Cuando un refrigerante circula por un sistema de refrigeración, comienza en un estado o condición inicial y pasa por una serie de etapas sucesivas y regresa a su punto de partida.

El ciclo saturado simple por compresión de vapor, tiene cuatro etapas fundamentales:

1. Expansión
2. Vaporización
3. Compresión
4. Condensación

4.1 PROCESO DE EXPANSIÓN

En el ciclo saturado simple es el proceso entre 1 - 2 y donde se ha supuesto que no hay cambios en las propiedades del líquido refrigerante a medida que este fluye a través de la tubería de líquido comprimido entre el condensador y el inicio del evaporador (salida de la válvula de expansión).

El proceso 1-2 adiabática con frecuencia llamada estirado de alambre en la cual la entalpía del fluido no cambia, este tipo de expansión ocurre siempre que un fluido es expandido a través de un orificio desde una presión alta hasta una presión baja. Se supone que esto ocurre sin ganancia, ni pérdida de calor a través de válvulas o tuberías y sin la realización de un trabajo.

4.2 PROCESO DE VAPORIZACIÓN

Es el proceso comprendido entre los puntos 2 – 3. En el cual el refrigerante se evapora tanto isotérmica como isobáricamente (temperatura y presión constante), a medida que este fluye a través del evaporador absorbe calor incrementándose su entalpía. La cantidad de calor absorbido es la diferencia entre la entalpía de refrigerante entre estos dos puntos, llamado esto **Efecto Refrigerante (ER)**.

$$ER = h_3 - h_2 \quad (12)$$

4.3 PROCESO DE COMPRESIÓN

Es el proceso comprendido entre los puntos 3 – 4. Este se efectúa en el compresor a medida que se incrementa la presión del vapor debido a la compresión desde la presión vaporizante hasta la compresión condensante, realizándose esto de manera isentrópica.

Durante este proceso se efectúa un trabajo sobre el vapor refrigerante, incrementándose la energía (entalpía) del vapor en una cantidad exactamente igual al trabajo mecánico efectuado sobre el vapor, esto es llamado a menudo calor de compresión y es igual a la diferencia de las entalpías entre los puntos 3 y 4.

$$Q_{compre} = h_4 - h_3 \quad (13)$$

4.4 PROCESO DE CONDENSACIÓN

Se lleva a cabo entre los puntos 4 – 1 en el él vapor sede al medio el calor latente de vaporización, enfriándose y quedando en forma de liquido, este enfriamiento sucede a presión y temperatura constantes. Quedando en las mismas condiciones de iniciación del ciclo.

El calor cedido al ambiente se puede calcular de esta forma.

$$Q = h_1 - h_4 \quad (14)$$

4.5 POTENCIA TEÓRICA

La potencia teórica en caballos de potencia necesaria para impulsar al compresor por tonelada de refrigeración de capacidad, puede obtenerse así:

$$T \frac{hp}{ton} = \frac{m(h_4 - h_3)}{42.42} \quad (15)$$

4.6 COEFICIENTE DE RENDIMIENTO

Es una expresión de la eficiencia del ciclo y queda definido con la relación del calor absorbido en el espacio refrigerado a la energía térmica equivalente de la energía suministrada al compresor, esto es:

$$c.d.r. = \frac{ER}{Q_{compr}} \quad (16)$$

5 COMPONENTES DEL EQUIPO

5.1 VENTILADORES

Un ventilador es una máquina volumétrica que traslada fluido de una parte a otra, venciendo determinada presión. En otras palabras, los ventiladores hacen dos cosas; suministran la presión estática necesaria y mueven el aire.

En un sistema de extracción localizada el ventilador es el elemento encargado de comunicar al aire la energía necesaria para arrastrarlo hasta el punto de captación y hacerlo circular por los ductos y elementos de limpieza antes de devolverlo de nuevo a la atmósfera.

Un ventilador crea una presión estática positiva sobre el lado de las aspas que impulsa el aire hacia adelante (hacia la chimenea) y una presión estática negativa sobre el lado contrario de las aspas que aspira el aire (hacia la campana).

5.1.1 Tipos de ventiladores: Los ventiladores se clasifican en dos tipos básicos, atendiendo a la trayectoria que sigue el fluido al pasar por ellos, éstos son: El axial o helicoidal y el centrífugo.

5.1.1.1 Ventiladores Axiales o Helicoidales: En este tipo de ventiladores el aire sigue la dirección del eje del rotor, estando alineadas la entrada y la salida. Ver figura 5. El rotor tiene dos o más alabes colocados en ángulo hacia el eje. En este tipo de ventiladores el sentido del flujo se invierte al invertir el sentido de giro del rotor.

Los ventiladores axiales son muy usados para aplicaciones de ventilación general, o de movimiento de aire. Tienen la ventaja sobre los centrífugos de un mayor rendimiento mecánico (puede llegar a un 95%), y el montaje es más sencillo, pero no puede vencer diferencias de presión muy elevadas, por lo que su uso queda limitado a las instalaciones que tengan poca pérdida de carga.

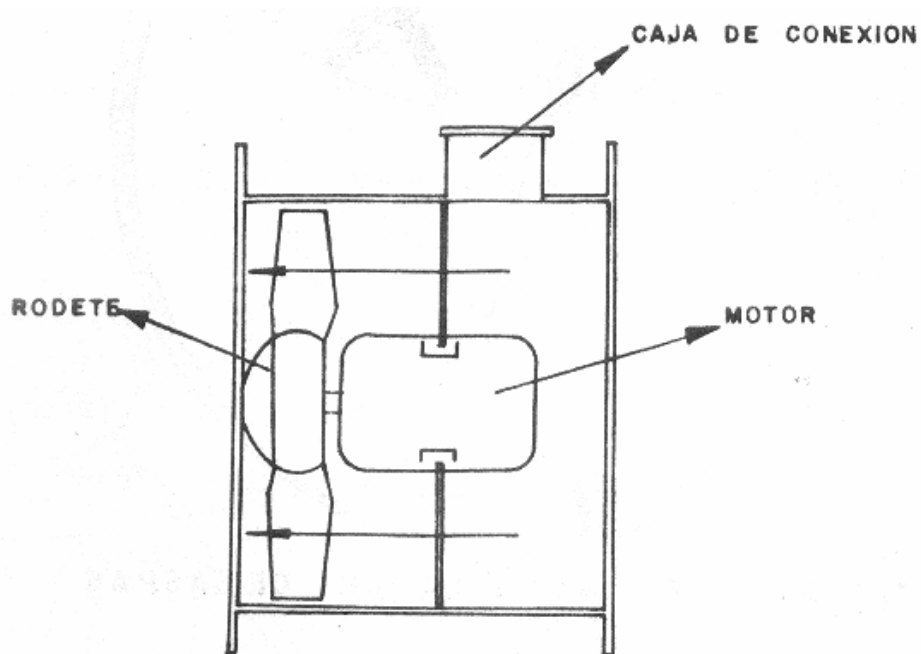


Figura 5 Ventilador Helicoidal

Existen varios tipos de ventiladores axiales:

? Axial de Propela (Hélice) o Aspas:

? Axiales Tubulares:

Cuadro 1 Rangos típicos de operación

Tipo	CFM	PE
Propela	200-30000	0 – 5/8”
Aspas	500-40000	0 – 5/8”
Tubo Axiales	500-40000	0 – 1 1/4”

5.1.1.2 Ventiladores Centrífugos: Este nombre se refiere a la forma en la cual comunica el ventilador la energía al fluido. El fluido entra en el ventilador a través de una abertura concéntrica con el eje de una pieza que gira a gran velocidad, llamado rotor. Figura 6 El rotor está provisto de alabes radiales solidarios con el mismo.

El fluido circula entre los alabes hacia el exterior a causa de la fuerza centrífuga y abandona el rotor con una velocidad mayor que a la entrada. La salida del fluido se recoge en una carcasa en espiral llamada voluta y sale del ventilador a través de una conducción tangencial a la voluta.

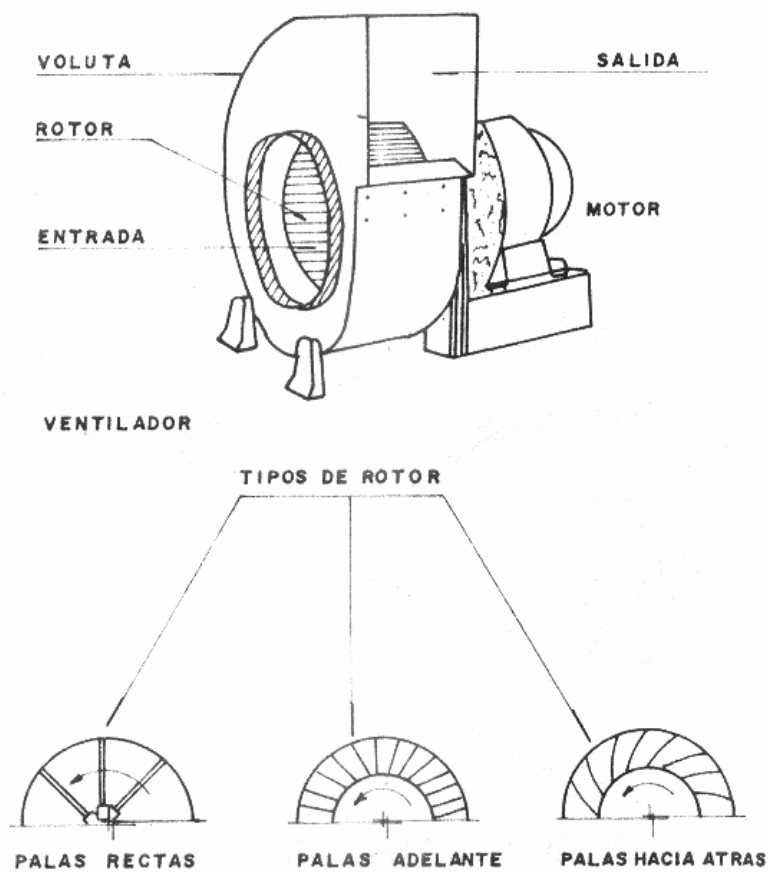


Figura 6 - Ventilador centrífugo y tipos de rotor

El rendimiento mecánico de un ventilador centrífugo no es muy elevado, oscila entre el 45 y 75%, debido a que el cambio de dirección del aire provoca pérdidas por choques y remolinos, no obstante manejan cualquier cantidad de aire contra altas presiones.

Cuadro 2. Rangos típicos de operación

Tipo	CFM	PE
Aletas rectas, industriales	500 - 70000	0.5-20"
Aletas curvas hacia delante	400-300000	0.25 - 10"
Aletas curvas hacia atrás	300 - 300000	0.25 - 10"
Aletas o alabes aerodinámicas	500 - 300000	0.25- 15"
Turbó sopladores	140 - 15000	7-70"

5.2 FLUJO Y PRESIÓN. CURVAS DEL SISTEMA Y DEL VENTILADOR

El conocimiento de la curva del sistema y la curva del ventilador ayudarán a visualizar cómo se selecciona un ventilador.

5.2.1 Curva Característica del Sistema: La figura 7 presenta un sistema de ventilación. Supóngase que se puede medir la presión estática a la entrada del ventilador. Para desarrollar una curva del sistema, el ventilador se hace girar a diferentes revoluciones por minuto y se grafican el flujo y los valores absolutos de la presión estática, A cero revoluciones por minuto (RPM) no hay flujo ni presión estática. A medida que se aumenta la velocidad del ventilador, se produce más flujo y se mide más presión estática. La curva resultante es parecida a la de una ecuación cuadrática debido a que el cambio en la PE es aproximadamente igual al cuadrado del cambio en el flujo.

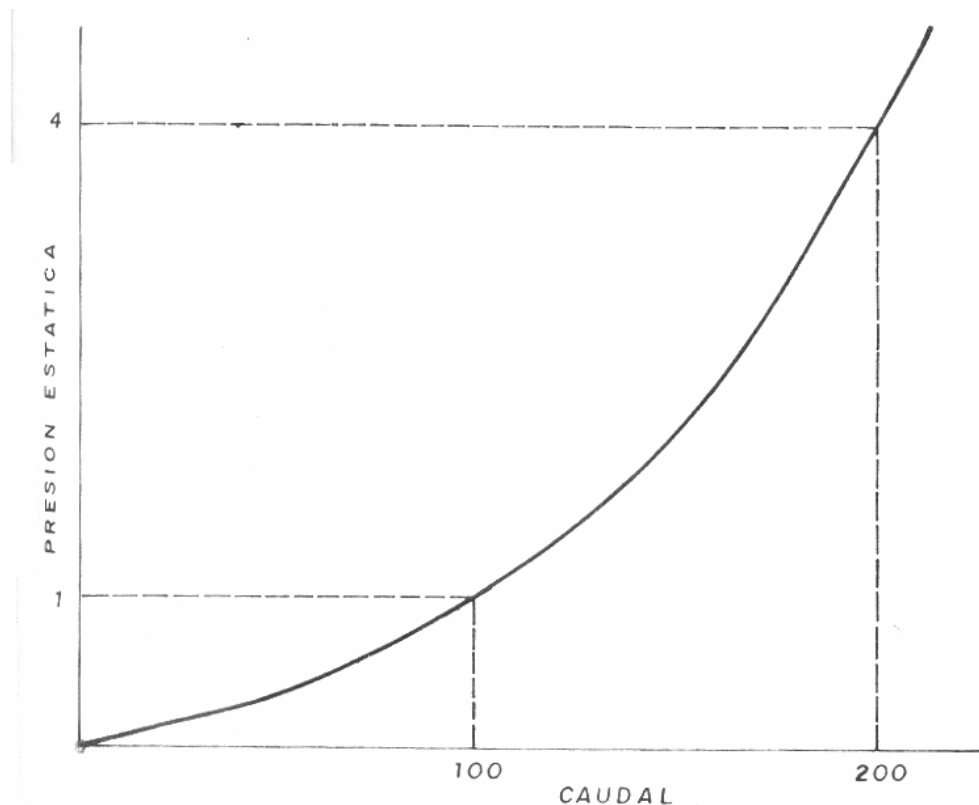


Figura 7 - Curva característica del sistema

5.2.2 Curva característica del Ventilador: La curva de un ventilador puede desarrollarse instalando un ducto de corta longitud en el lado de entrada del ventilador y una válvula de mariposa a la entrada del ducto; con un manómetro se mide la presión estática. Figura 8.

El ventilador se hace girar a una sola velocidad específica. La válvula se cierra completamente para que no fluya el aire. La válvula de mariposa se abre lentamente y cada vez se deja pasar más aire a través del ducto. Eventualmente la válvula se abre totalmente, resultando el flujo máximo y esencialmente no hay pérdidas de presión estática.

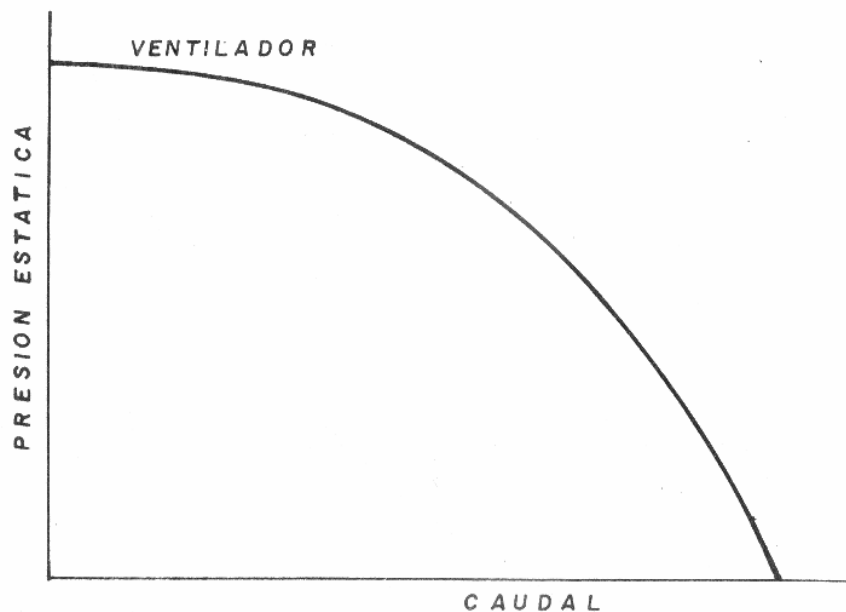


Figura 8 - Curva característica del ventilador

Se pueden generar curvas adicionales girando el ventilador a diferentes RPM Así se puede obtener una familia de curvas para cualquier ventilador. También se pueden medir otros parámetros y graficarse, por ejemplo, potencia consumida (HP), eficiencia, niveles de ruido, etc. Generalmente lo que interesa es el rango de operación más eficiente de la curva.

5.3 SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Si se toma la curva del sistema. Figura 7 y la curva del ventilador. Figura 8 y se sobreponen aparece la Figura 9. El punto donde las líneas se cruzan, es donde el sistema operaría si el ventilador se hiciera girar a las RPM designadas en la Figura 8.

En el diseño del sistema se especifica siempre una presión estática y una tasa de flujo, es decir, se escoge por adelantado el punto de operación sobre la curva del sistema que se necesita; supóngase que el asterisco sobre la figura 10 representa el criterio de diseño.

Se debe escoger un ventilador que tenga una línea de PPM que caiga a través del punto de operación del sistema especificado. Esencialmente así es como se selecciona un ventilador.

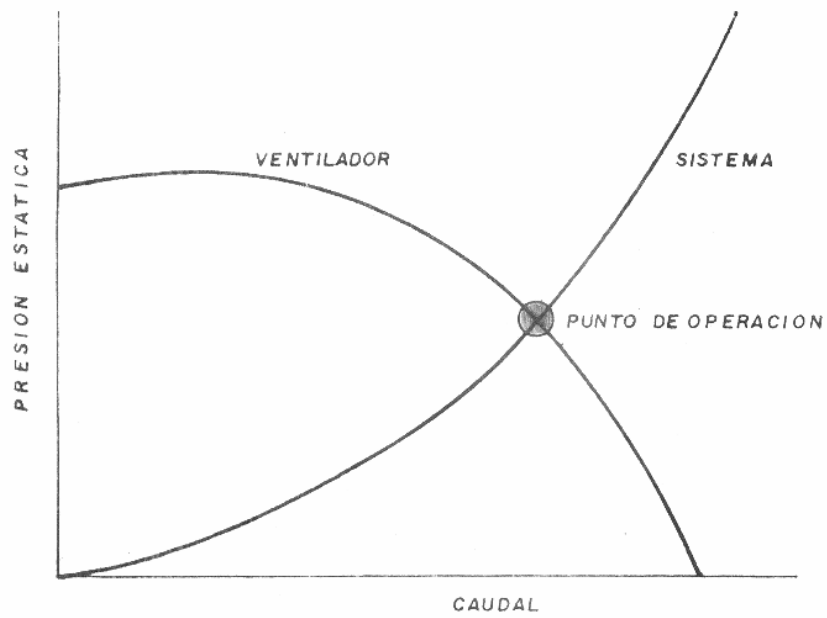


Figura 9 - Punto de operación

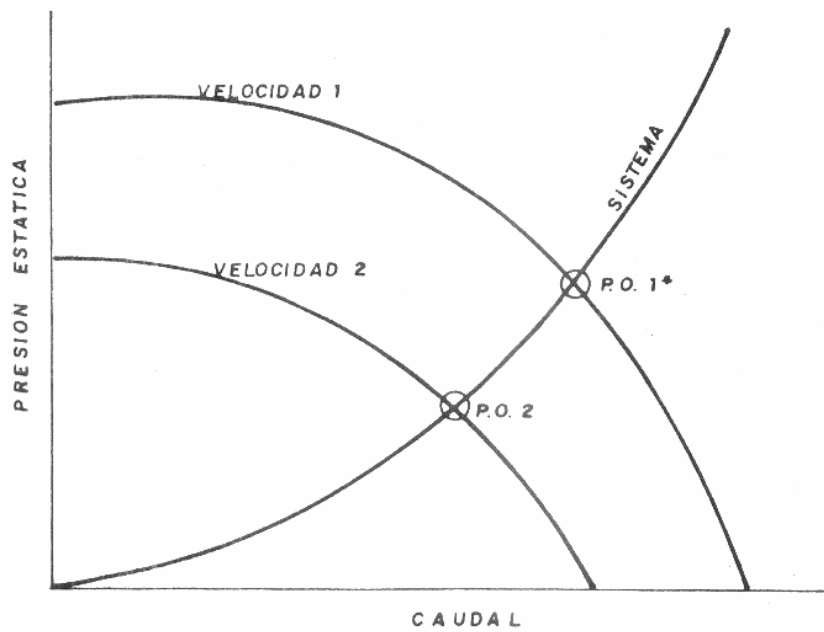


Figura 10 - Cambio de revoluciones con sistema constante

5.4 DISPOSICION O ACOPLAMIENTO DEL VENTILADOR

Generalmente la potencia se comunica a los ventiladores por medio de motores eléctricos, los cuales pueden estar acoplados directamente, o unidos entre sí por medio de las bandas y poleas.

5.5 MOTORES ELECTRICOS O QUE

Son las máquinas que sirven para convertir la energía eléctrica en energía mecánica. Se clasifican en dos grupos, de acuerdo con la clase de corriente que ha de alimentarlos para su funcionamiento:

- Motores de corriente alterna
- Motores de corriente continúa.

En la industria de la refrigeración se emplean motores monofásicos y trifásicos de corriente alterna, de varios tipos como impulsores para compresores, bombas y ventiladores. Opcionalmente se encuentran algunos motores de dos fases y de corriente continua.

Los motores monofásicos varían en capacidad, aproximadamente desde 1/20 hp hasta 1/10hp; los motores trifásicos pueden obtenerse en tamaños que varían desde 1/3 hp en

adelante, si bien estos últimos rara vez se emplean en tamaños inferiores a 1 hp. Cuando se dispone de potencia trifásica se prefiere, generalmente, el motor trifásico al motor monofásico en tamaños de caballos enteros, debido a su mayor sencillez y menor costo.

5.5.1 Selección de motores: La selección del motor que va a mover el ventilador se hace conociendo la potencia del motor requerida (MHP) y las revoluciones del ventilador.

Además del tipo de potencia disponible, existen algunos de los factores más importantes que deben tenerse en cuenta para seleccionar el tipo apropiado de motor son:

- a) Condiciones prevalecientes en el punto de instalación, con respecto a la temperatura ambiente, humedad o materiales explosivos.
- b) Requisitos de par de arranque (arranque con o sin carga).
- c) Limitaciones de la corriente de arranque.
- d) Operación en una velocidad o velocidades múltiples.
- e) Operación continua o intermitente.
- f) Eficiencia del factor de potencia

5.5.2 La potencia del motor: La potencia del motor no está bien definida, pero es útil pensar en ella como los HP más cualquier potencia requerida para tener en cuenta las pérdidas por deslizamientos, transmisión y uso de poleas.

$$\text{MHP} = \text{BHP} \times \text{factor de servicio} \quad (17)$$

5.6 REGULADOR DE VELOCIDAD

Con el motor de inducción de rotor devanado es posible obtener, variando la resistencia del circuito del rotor, cualquier velocidad desde el 96% aproximadamente, de la velocidad de sincronismo, hasta cero. Sin embargo el rendimiento se reduce en la misma proporción que la velocidad y a velocidades reducidas, esta varía mucho con la carga. Por consiguiente, no es económico trabajar a velocidad reducida durante mucho tiempo y en general, resulta necesaria la continua presencia de un operario que haga actuar los mandos para obtener la velocidad deseada.

Las bobinas del estator de un motor de inducción se pueden conectar de tal modo que se duplique el número de polos, reduciendo así la velocidad a la mitad. No supone un gran aumento en el costo del motor dotarle de los dispositivos de conmutación necesarios para efectuar este cambio, consiguiéndose así que funcione eficientemente a dos velocidades.

No obstante, esto no proporciona velocidades intermedias, a menos que se utilice, naturalmente, un rotor devanado, en cuyo caso las bobinas de este se han de volver a conectar también.

Así mismo puede Construirse el estator con dos conjuntos completos de arrollamientos.

5.7 EVAPORADORES

Se le ha asignado este nombre a cualquier superficie que transfiera calor, en el cual se vaporiza un refrigerante, con objeto de retirar calor del espacio o material refrigerado.

Los tres tipos principales de construcción de lo evaporadores son: tubo desnudo, superficie-placa y con aletas. Ver figura 11

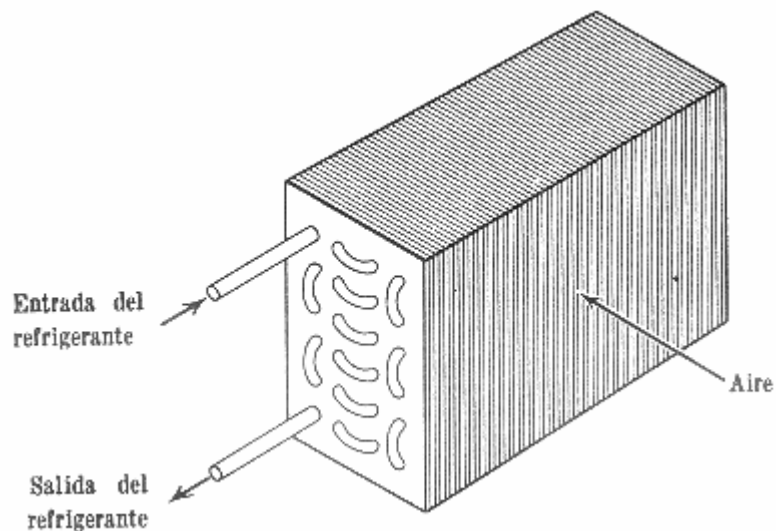


Figura 11 – Evaporador con un circuito refrigerante en serie

5.8 CONDENSADOR

Al igual que el evaporador, el condensador es una superficie de transferencia de calor. El calor del vapor refrigerante caliente, pasa a través de las paredes del condensador al medio condensante, Como resultado de perdidas de calor al medio condensante, el vapor refrigerante se enfría primero a su saturación y luego se condensa al estado líquido. Ver figura 12.

Los condensadores son de dos tipos generales enfriados por aire y enfriados por agua.

5.9 COMPRESOR

Se emplean comúnmente tres tipos de compresores para servicios de refrigeración: reciprocantes, rotatorios y centrífugos. Los tipos recíprocante y rotatorio son compresores de desplazamiento positivo, efectuándose la compresión del vapor mecánicamente por medio de un miembro compresor. En el compresor recíprocante, el miembro compresor es un pistón recíprocante, mientras que en el compresor rotatorio, el miembro de compresión toma la forma de una cuchilla, paleta o rodillo. El compresor centrífugo, por otra parte, no tiene miembro compresor, y la compresión del vapor se obtiene principalmente por la acción de la fuerza centrífuga desarrollada al hacer girar el vapor con un impulsor de alta velocidad. Ver figura 12.

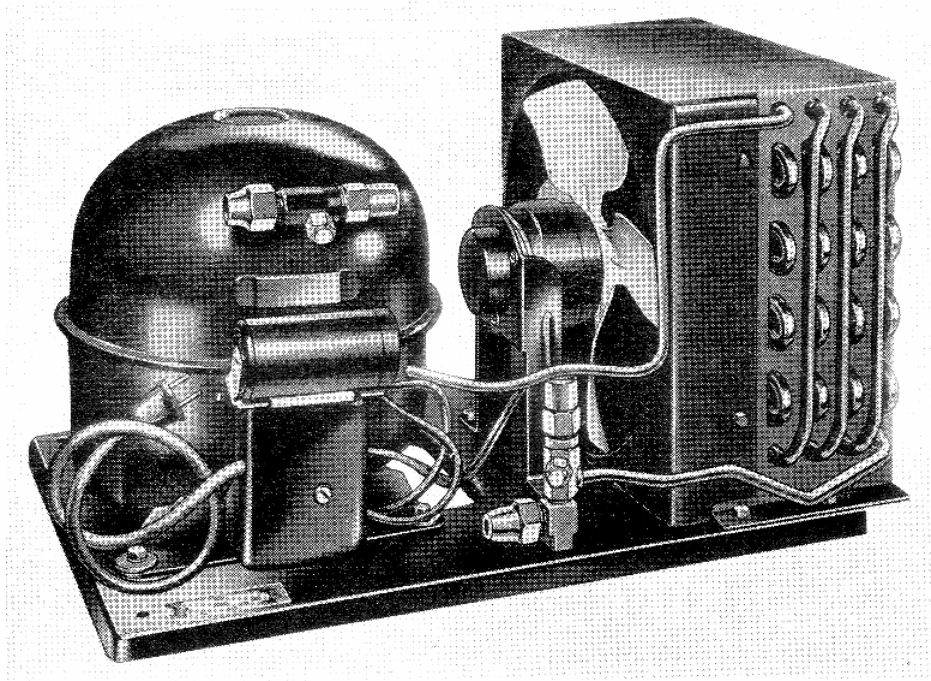


Figura 12 – Unidad condensadora enfriada por aire, empleando un moto compresor hermético.

Los tres tipos de compresor tienen ciertas ventajas en su campo particular de aplicación. En su mayor parte, el tipo de compresor empleado en cualquier aplicación individual, depende del tamaño y naturaleza de instalaciones y del refrigerante empleado.

5.10 PRESOSTATOS

Es una combinación de controles o elementos de protección de baja y alta presión en un solo motor. De ordinario, solo se usa un solo juego de puntos de contacto eléctrico en el

motor, aun cuando se empleen fuelles separados para cada una de las presiones. En la figura se ilustra un presostato dual típico, este tipo de controles de presión viene generalmente incluido como tipo normal en las unidades de condensación.

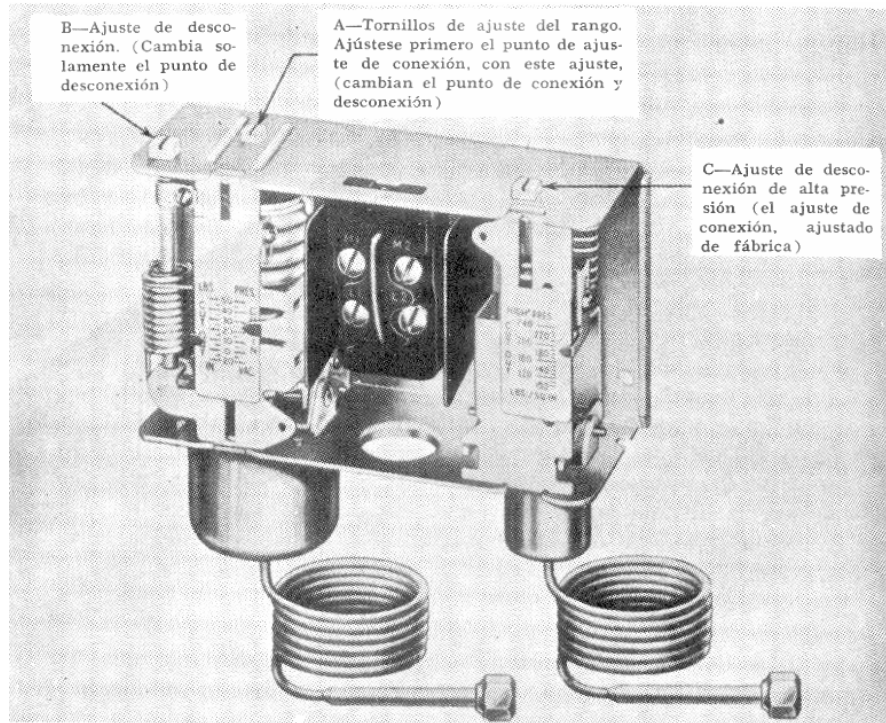


Figura 13 – Control de presión dual

Los controles de alta presión están conectados generalmente en la salida o descarga del compresor impulsado por la presión mayor del sistema.

Los controles de baja presión están conectados en la salida del evaporador o entrada del compresor. Ambos controles están diseñados de igual forma, en donde un tubo capilar que va conectado a la tubería de succión o descarga del compresor transmite la presión a un

fuelle o diafragma confiado en el presostato y un sistema de palancas cierra o abre contactos eléctricos o bien hace actuar a otros mecanismos compensantes.

5.11 BOMBAS CENTRIFUGAS

Es el medio mecánico necesario para la conducción de líquidos, o para la transferencia de presión o energía a un líquido.

La acción de bombeo es la adición de energía cinética y potencial a un líquido con el fin de moverlo de un punto a otro. Esta energía hará que el líquido efectúe trabajo, tal como circular por una tubería o subir a una mayor altura.

Las bombas para líquido empleadas en la industria de refrigeración, para la circulación de agua o salmuera frías, así como para el agua de condensación, son generalmente del tipo centrífugo.

Una bomba centrífuga consiste, principalmente, de un impulsor rotatorio del tipo de paleta encerrado en una cubierta estacionaria, El líquido bombeado pasa por el ojo del impulsor siendo arrojado a la orilla exterior, o periferia del impulsor, por la fuerza centrífuga.

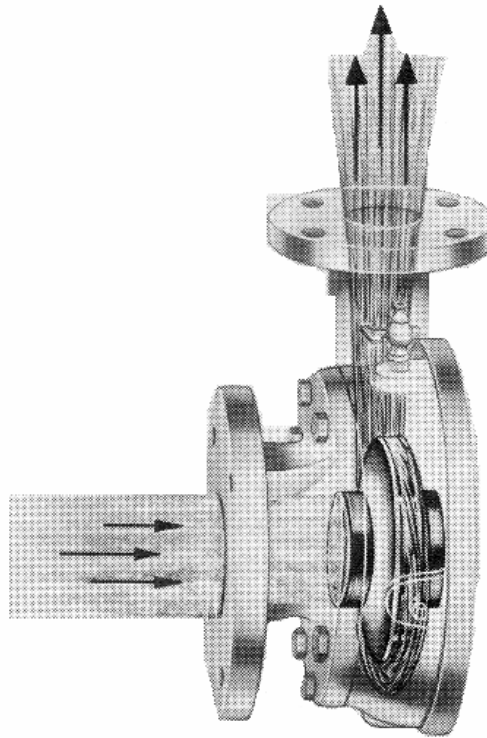


Figura 14 - Flujo a través de una bomba centrífuga

En el proceso, el líquido adquiere velocidad y presión considerable. El líquido que abandona la periferia del impulsor se **UNE (JUNTA)** en la cubierta, siendo dirigido a través de la columna de descarga Fig. 14.

Con frecuencia, el impulsor de la bomba está directamente montado sobre la flecha del motor, de manera que la bomba y motor forman una sola unidad. En otros casos, la bomba y el motor son unidades separadas y están conectadas por medio de un acople flexible.

En general, la capacidad de una bomba centrífuga depende del diseño y tamaño de la bomba, así como de la velocidad del motor. Para una bomba de tamaño, diseño y velocidad específicos, el volumen del líquido varía con la columna de bombeo contra la cual debe trabajar la bomba.

5.11.1 Ventajas y desventajas

Ventajas: La bomba centrífuga es preferida en virtud de las siguientes características favorables:

1. Sencillez de construcción.
2. Ausencia de válvulas y partes con movimiento alternativo.
3. Pocas piezas móviles.
4. Ausencia de tolerancias muy estrictas.
5. Mínimas pérdidas de potencia por transmisión.
6. Caudal constante, sin pulsaciones.
7. Funcionamiento en vacío sin excesivo aumento de presión.
8. Ausencia de contacto entre el lubricante y el líquido bombeado.
9. Es compacta y pesa poco.
10. Puede montarse en conexión directa con los motores corrientes.
11. Vida prolongada.
12. De fácil mantenimiento y pocas averías.
13. De precio razonable.

Desventajas: La bomba centrífuga tiene dos inconvenientes:

1. No se auto ceba, mientras no tenga un dispositivo especial de cebado (o una válvula de pie).
2. Es de poco rendimiento con caudales menores de 3 m³/h, a alturas mayores de 10 m.

5.11.2 Selección de bombas: Las bombas se eligen basándose en las curvas características de las mismas dadas por el fabricante (Fig.15). La mayoría de bombas están proyectadas para que funcionen a pleno rendimiento en el punto medio de su característica presión-caudal. La selección en el punto de máximo rendimiento, o algo desplazado a la izquierda, contribuye a simplificar los problemas de ruido y vibración. En cambio, si su punto de funcionamiento se elige demasiado distanciado a la derecha del de máximo rendimiento, puede producirse la cavitación por aumento de la altura neta positiva de la aspiración (NPSHr).

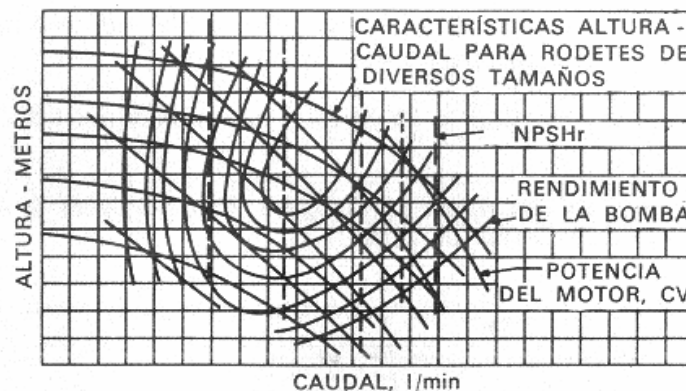


Figura 15 – Curvas típicas para la selección de bombas

El rendimiento de la bomba no es el único criterio de selección; también hay que tener en cuenta los costes de funcionamiento y de adquisición y que funcione silenciosamente.

5.11.3 Selección del motor: La potencia del motor seleccionado para propulsar una bomba debe ser igual o mayor que la de la potencia necesaria en el eje de la misma para el punto de funcionamiento de la característica presión-caudal de la bomba. Siempre existe el riesgo de que la bomba funcione fuera del punto de trabajo elegido y que se sobrecargue el motor. En las combinaciones de bomba y motor no sobrecargables se ha adoptado una potencia del motor mayor que la potencia al freno o útil de la bomba y está provisto un margen de seguridad. Si la bomba está provista de rodete no sobrecargable, se puede elegir un motor de menor potencia. En cualquiera de los casos la potencia útil es la misma.

5.12 RESISTENCIAS ELECTRICAS

Son espirales de materiales especiales que al aplicarle una corriente eléctrica se crea una diferencia de potencial la cual transforma la energía de los electrones en movimiento en energía térmica útil.

5.12.1 Parámetros para la selección de resistencias

1. Material altamente resistente al calor.
2. Óptimos para trabajos continuos y duraderos sin que por ello se reduzcan sus características.
3. Alto poder calorífico

5.13 INDICADORES DE LÍQUIDO (VISORES)

Un indicador de líquido o visor de cristal, instalado en la línea del líquido de un sistema de refrigeración, constituye un medio para determinar visualmente si el sistema tiene o no carga suficiente de refrigerante. Si el sistema tiene una carga insuficiente, aparecerán burbujas de vapor en el chorro líquido, que serán claramente visibles a través del cristal del visor. El visor deberá instalarse tan cerca como sea posible del receptor, pero lo bastante adelantado en dirección del flujo, respecto de las válvulas, en tal forma que la perturbación resultante no aparezca en el cristal. Cuando las líneas de líquido sean largas, frecuentemente se instalará un visor adicional al frente del control de refrigerante (o del solenoide a la línea de líquido, cuando se emplee), para determinar si llega al control de refrigerante un chorro de líquido puro. Las burbujas que aparecen en el visor en este punto, indicarán que hay gasificación en la caída del líquido como resultado de una caída de presión excesiva y

en este caso pueden eliminarse las burbujas reduciendo la caída de presión en la línea del líquido o subenfriando más el refrigerante líquido.

5.14 SECADORES DE REFRIGERANTES.

Los secadores de refrigerante (Fig.16) se recomiendan en todos los sistemas de refrigeración que empleen un refrigerante halo carburó. En sistemas más pequeños, el secador por lo regular se instala directamente en la línea del líquido.

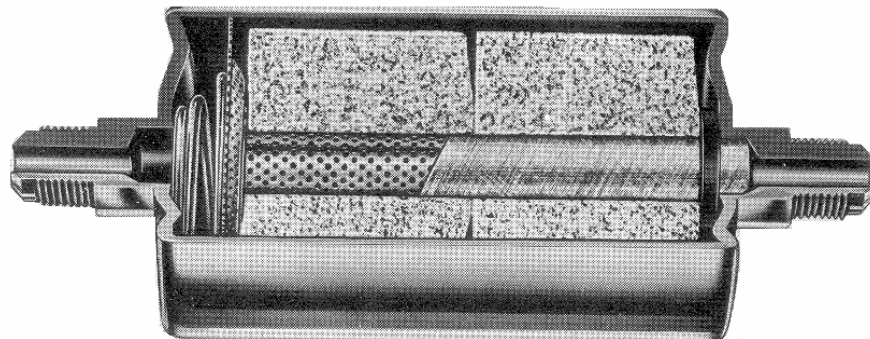


Figura 16 – Secador de refrigerante

5.14.1 Propiedades de los secadores: las propiedades de los secadores son las siguientes;

- A. Reduce el contenido de humedad de un refrigerante a un bajo nivel.
- B. Debe mantener la humedad que puede tomarse en una instalación mientras retiene la eficiencia.

C. Soporta la presencia de aceite u otras sustancias en el sistema de refrigeración con poca o ninguna pérdida de eficiencia, capacidad o velocidad.

D. Seca bien los refrigerantes ya sean líquidos o gaseosos.

E. Resistir la reacción química con el aceite, refrigerante o cualquier otro material o sustancia usada en el sistema de refrigeración.

F. Remover la humedad del refrigerante a un nivel por de bajo del que causa la corrosión. Como el nivel de corrosión es más elevado que el nivel en que ocurre la congelación, cualquier secador que evita esto, también puede evitar la corrosión.

5.15 SEPARADOR DE ACEITE

La lubricación de compresores, sea cual sea el sistema utilizado, no puede asegurarse con la cantidad estrictamente necesaria para el buen funcionamiento del mecanismo. O sea que para estar seguro de que la lubricación va a ser eficiente y llegar a todos los puntos de engrase, debemos garantizar una superabundancia de aceite. Esta superabundancia que en determinados casos, no ocasionaría dificultad alguna, para el retorno de aceite al cárter de

la máquina (motores de combustión interna) implica por el contrario, la fuga de aceite en los compresores frigoríficos dependiendo esta de:

- ? El factor mecánico que motiva el escape de la película de aceite entre pistones y cilindros.
- ? El factor físico, naturaleza misma del fluido comprimido y las condiciones termodinámicas de su compresión.

Para que la circulación de aceite se reduzca a un mínimo, algunas veces se instalan Separadores de aceite o trampas en la tubería de descarga entre el compresor y el condensador.

Los separadores deben usarse en cualquier sistema en que el regreso del aceite es inadecuado o difícil y/o cuando la cantidad de aceite que circula resulta ser excesiva, ocasionando deficiencias en las diferentes superficies de transferencia de calor. Se recomiendan los separadores de aceite para:

1. Todos los sistemas que usan refrigerantes no miscibles.
2. Sistema de temperatura baja.

3. Los sistemas que utilizan evaporadores con no retorno de aceite, como los de líquido inundados.

4. Sistemas en el que el control de la capacidad y/o tubos verticales de succión o descarga del compresor ocasionen serios problemas en el diseño de la tubería.

Los separadores de aceite son de dos tipos básicos:

1. De choque.

2. Enfriador.

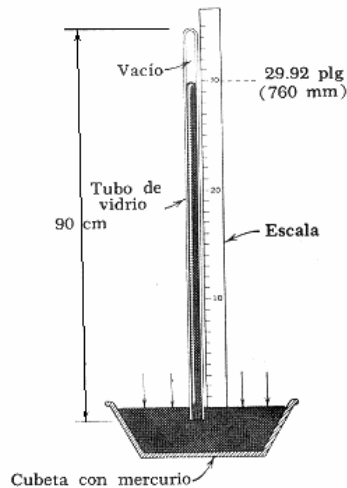
5.16 MANOMETROS

Los indicadores de presión son instrumentos que se usan para medir la presión de un fluido (gaseoso o líquido) dentro de un recipiente cerrado. Los indicadores de presión que se usan habitualmente en la industria de refrigeración son de dos tipos: (1) columna de líquido y (2) tubo bourdon

5.16.1 Manómetros de columna de líquido

El indicador de presión de tipo manométrico, utiliza una columna de líquido para medir la presión, siendo ésta indicada por la altura de la columna. El líquido usado en los manómetros puede ser agua o mercurio.

Cuando se emplea mercurio, el instrumento se conoce como manómetro de mercurio o indicador de mercurio y cuando se emplea agua, se conoce como manómetro o indicador de agua.



Figs. 17 - La presión que ejerce la atmósfera sobre el plato de mercurio abierto hace que este se eleve dentro del tubo.

Un manómetro de mercurio sencillo, ilustrado en las Figuras.17, 18 y 19, consisten en un tubo de cristal en forma de U, abierto en ambos extremos y parcialmente lleno de mercurio. Cuando ambas patas del tubo U se abren a la atmósfera, la presión atmosférica se aplica al

mercurio en ambos lados del tubo y la altura de las dos columnas es la misma. La altura de las dos columnas de mercurio en esta posición, se marca como punto cero de la escala y la escala se calibra en milímetros para leer la desviación de las columnas de mercurio, con respecto a la condición cero, en cualquier dirección. Figura 18.

Cuando se usa, un lado del tubo U se conecta al recipiente cuya presión se pretende medir. La presión del recipiente, que actúa sobre una rama del tubo, actúa contra la presión atmosférica que se aplica a la rama abierta del tubo. Si la presión en el recipiente es mayor que la de la atmósfera, el nivel del mercurio en el lado del tubo U que da al recipiente desciende, mientras que se eleva la misma distancia, el mercurio del lado abierto (Figura19). Si la presión del recipiente es inferior a la atmosférica, el nivel del mercurio en la rama abierta del tubo, desciende, ascendiendo en consecuencia la correspondiente al recipiente por una cantidad igual (Figura 20). En cualquier caso, la diferencia de altura de las dos columnas de mercurio es una indicación de la diferencia de presión entre la presión total del fluido en el recipiente y la de la atmósfera.

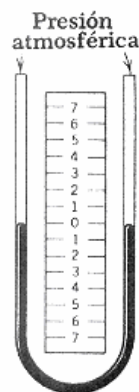


Figura 18 – Manómetro tubo en U presión atmosférica

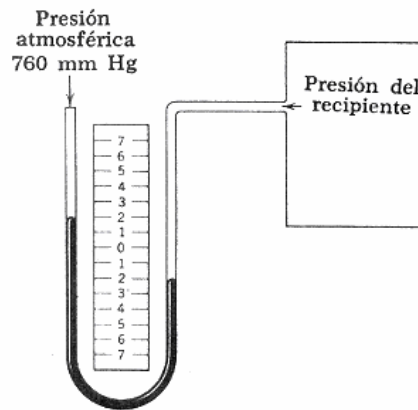


Figura 19 – Manómetro tubo en U presión de un recipiente

Cuando ambas patas del tubo U se abren a la atmósfera, la presión atmosférica se aplica al mercurio en ambos lados del tubo y la altura de las dos columnas es la misma. La altura de las dos columnas de mercurio en esta posición, se marca como punto cero de la escala y la escala se calibra en milímetros para leer la desviación de las columnas de mercurio, con respecto a la condición cero, en cualquier dirección (Figura 18).

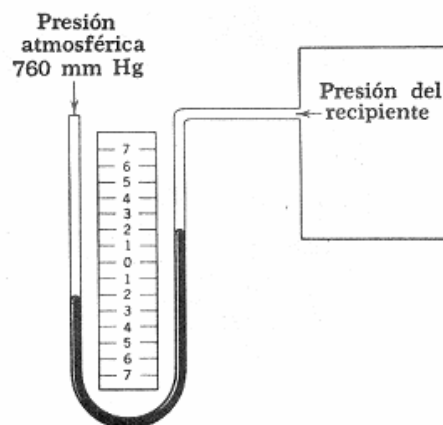


Figura 20 - Manómetro tubo en U presión de vacío

Los manómetros que emplean agua como fluido de medición, son particularmente útiles para medición de presiones pequeñas. Debido a la diferencia en las densidades de mercurio y agua, presiones tan ligeras que no afectan visiblemente la altura de una columna de mercurio, producen variaciones fácilmente detectables en la altura de una columna de agua.

La presión atmosférica que soporta una columna de mercurio de sólo 760 mm de alto, eleva una columna de agua a una distancia de aproximadamente 10.3 m. Una presión de 1 kg/cm^2 , eleva una columna de agua 10 m y una presión de sólo 0.001 kg/cm^2 es suficiente para soportar una columna de agua de 1 cm de alto. Por lo tanto, 1 cm de columna de agua equivale a 0.001 kg/cm^2 .

5.16.2 Indicadores de tipo Bourdon: Debido a la longitud excesiva requerida para el tubo, los indicadores de tipo magnético no son prácticos para medición de presiones superiores a unos 10.5 kg/cm^2 y se encuentran hasta cierto punto limitados a la medición de presiones relativamente pequeñas en ductos de aire, etc.



Figura 21 – Vista interior de un manómetro tipo bourdon

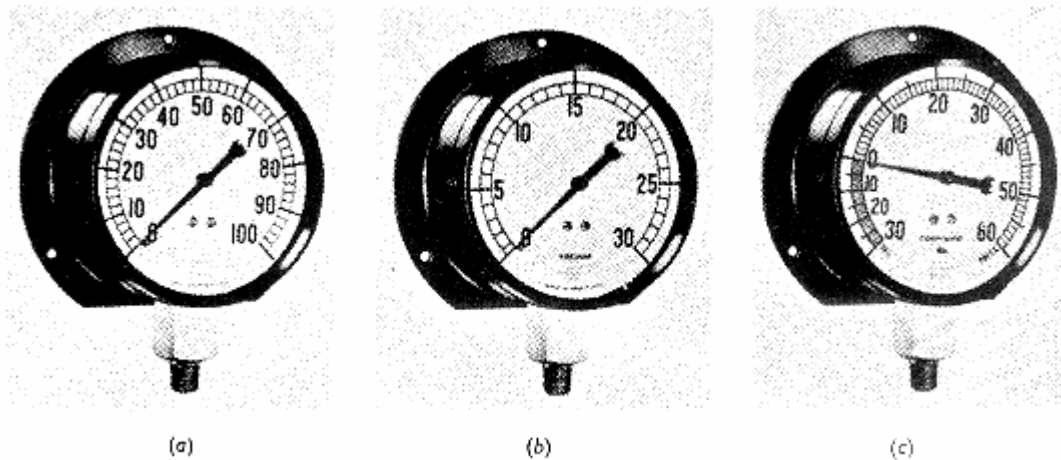


Figura 22 – Manómetros Bourdon típicos, a) de presión, b) de vacío, c) combinado

Los instrumentos del tipo bourdon se usan extensamente para medición de las presiones más elevadas que se encuentran en trabajos de refrigeración. El mecanismo actuante del indicador tipo bourdon, se ilustra en la Figura 20. El tubo bourdon, es un tubo metálico de forma elíptica que tiende a enderezarse al aumentar la presión del fluido y a enroscarse al disminuir esta presión. Cualquier cambio en la curvatura del tubo se transmite a través de un sistema en engranes, a la aguja indicadora. La dirección y magnitud del movimiento de la aguja depende de la dirección y magnitud del cambio en la curvatura del tubo.

Los instrumentos de tubo bourdon son sumamente robustos y miden presiones ya sea superiores e inferiores a la atmosférica. Los diseñados para medir presiones superiores a la atmosférica se conocen como instrumentos de "presión" (Figura 21a) y generalmente están calibrados en kg/cm^2 , mientras que los diseñados para leer presiones inferiores a la atmosférica se llaman medidores de "vacío" y generalmente están calibrados en milímetros

de mercurio (Figura 21b). En muchos casos, se diseñan medidores de presión que se conocen como universales, para medir presiones arriba y abajo de la atmosférica (Figura 21c). Estos medidores se calibran para leer kg/cm^2 arriba de la presión atmosférica y mm de Hg abajo de la misma.

5.17 REFRIGERANTES

Es cualquier cuerpo o sustancia que actúa como agente de enfriamiento absorbiendo calor de otro cuerpo o sustancia.

Con respecto al ciclo compresión-vapor, el refrigerante es el fluido de trabajo del ciclo el cuál alternativamente se vaporiza y se condensa absorbiendo y cediendo calor, respectivamente. Para que un refrigerante sea apropiado y se le pueda usar en el ciclo antes mencionado, debe poseer ciertas propiedades físicas, químicas y termodinámicas que lo hagan seguro durante su uso.

No existe un refrigerante “ideal” ni que pueda ser universalmente adaptable a todas las aplicaciones. Entonces, un refrigerante se aproximará al “ideal”, solo en tanto que sus propiedades satisfagan las condiciones y necesidades de la aplicación para la que va a ser utilizado.

5.17.1 Propiedades de los refrigerantes: Para tener uso apropiado como refrigerante, se busca que los fluidos cumplan con la mayoría de las siguientes características:

- ? Baja temperatura de ebullición
- ? Fácilmente manejable en estado líquido
- ? Alto calor latente de vaporización
- ? No inflamable, no explosivo, no tóxico.
- ? Químicamente estable
- ? No corrosivo
- ? Moderadas presiones de trabajo
- ? Fácil detección y localización de pérdidas
- ? Inocuo para los aceites lubricantes
- ? Bajo punto de congelación.
- ? Alta temperatura crítica
- ? Moderado volumen específico de vapor
- ? Bajo costo

Todos los refrigerantes se identifican mediante un número reglamentario.

5.17.2 Clasificación de los refrigerantes: De acuerdo a su toxicidad el American Standard Safety Code for Mechanical Refrigeration (código Americano Estándar de

Seguridad para la refrigeración Mecánica) y la norma ASHRAE 12-58 agrupan los refrigerantes en tres clases. Puesto que muchos de ellos no se utilizan, solo describiremos los de uso más corriente.

Refrigerantes del grupo 1:

Son los de toxicidad e inflamabilidad despreciables. De ellos, los refrigerantes **11**, **113** y **114** se emplean en compresores centrífugos.

Los refrigerantes **12**, **22**, **500** y **502** se usan normalmente en compresores alternativos y en los centrífugos de elevada capacidad.

Refrigerantes del grupo 2:

Son los tóxicos o inflamables, o ambas cosas.

El grupo incluye el **Amoníaco**, **Cloruro de etilo**, **Cloruro de metilo** y **Dióxido de azufre**, pero solo el **Amoníaco (r-717)** se utiliza aún en cierto grado.

Refrigerantes del grupo 3:

Estos refrigerantes son muy inflamables y explosivos. A causa de su bajo costo se utilizan donde el peligro está siempre presente y su uso no agrega otro peligro, como por ejemplo, en las plantas petroquímicas y en las refinerías de petróleo.

El grupo incluye el **Butano**, **Propano**, **Isobutano**, **Etano**, **Etileno**, **Propileno** y **Metano**.

5.17.3 Diferentes tipos de refrigerantes (características)

Amoníaco: Aunque el amoníaco es tóxico, algo inflamable y explosivo bajo ciertas condiciones, sus excelentes propiedades térmicas lo hacen ser un refrigerante ideal para fábricas de hielo, para grandes almacenes de enfriamiento, etc., donde se cuenta con los servicios de personal experimentado y donde su naturaleza tóxica es de poca consecuencia. El amoníaco es el refrigerante que tiene más alto efecto refrigerante por unidad de peso. El punto de ebullición del amoníaco bajo la presión atmosférica estándar es de $-2,22^{\circ}\text{C}$.

En la presencia de la humedad el amoníaco se vuelve corrosivo para los materiales no ferrosos y no es miscible con el aceite y por lo mismo no se diluye con el aceite del cárter del cigüeñal del compresor. Deberá usarse un separador de aceite en el tubo de descarga de los sistemas de amoníaco.

R-11 (Triclorofluorometano): Utilizado para la limpieza de circuitos de refrigeración, en grades instalaciones de aire acondicionado y para espumación. Es líquido a temperatura ambiente, Envasado en bidones de 75 Kg. y de 300 Kg.

R-12 (Diclorodifluorometano): Utilizado en neveras, muebles de frió, pequeñas cámaras de helados y en general aparatos que conservan la temperatura, y en el aire acondicionado del automóvil. Envasado en Botellas de 13,6 Kg. y 65 Kg. y en Bidones de 800 Kg.

R-22 (Monoclorodifluorometano): Utilizado en grandes instalaciones de Aire Acondicionado y equipos portátiles, se empieza a utilizar como alternativa al R-502 en cámaras de congelación. Envasado en botellas de 13,6 Kg. y 60 Kg. y en Bidones de 900 Kg.

Conocido con el nombre de Freón 22, se emplea en sistemas de aire acondicionado domésticos y en sistemas de refrigeración comerciales e industriales incluyendo: cámaras de conservación e instalaciones para el procesado de alimentos: refrigeración y aire acondicionado a bordo de diferentes transportes; bombas de calor para calentar aire y agua. Se puede utilizar en compresores de pistón, centrífugo y de tornillo.

Refrigerante 113 (Triclorotrifluoroetano): Utilizado para refrigeración, Envasado en bidones de 300 Kg.

Refrigerante 134a (Tetrafluorometano): Sustituto del R-12, Utilizado para el aire acondicionado del automóvil, en mueble comercial y en Fabricantes de bebidas. Envasado en botellas de 13,6 Kg. y 60 Kg. y en Bidones de 900 Kg.

Refrigerante 123: Es un sustituto viable para el freón 11 como refrigerante.

Las propiedades termodinámicas y físicas del refrigerante 123 en conjunto con sus características de no-inflamabilidad lo convierte en un reemplazo eficiente del Freón 11 en chillers centrífugos. El refrigerante 123 fue diseñado para trabajar en equipos nuevos existentes.

Los equipos nuevos que han sido diseñados para trabajar con el refrigerante 123 tienen menor costo de operación, comparados con los equipos existentes.

Debido a que tiene un olor tan leve que no se puede detectar por medio del olfato es necesaria una verificación frecuente de fugas y la instalación de detectores de fugas por áreas cerradas utilizadas por el personal.

Refrigerante 134-a: Ha sido introducido como reemplazo de los Clorofluorocarbonos (CFC) en muchas aplicaciones. La producción de CFC es reemplazada por el hidrofluorocarbono HFC-134^a. Este refrigerante no contiene cloro y puede ser usado en muchas aplicaciones que actualmente usan CFC-12.

Las propiedades termodinámicas y físicas del 134a y su baja toxicidad lo convierten en un reemplazo seguro y muy eficiente del CFC-12 en muchos segmentos de la refrigeración industrial mas notablemente en el aire acondicionado automotriz, equipos domésticos, equipo estacionario pequeño, equipo de supermercado de media temperatura y chillers,

industriales y comerciales. El 134a ha mostrado que es combustible a presiones tan bajas como 5,5 psia a 177°C cuando se mezclan con aire a concentraciones generalmente mayores al 60% en volumen de aire. A bajas temperaturas se requieren mayores presiones para la combustibilidad. No deben ser mezclados con el aire para pruebas de fuga. En general no se debe permitir que estén presentes con altas concentraciones de aire arriba de la presión atmosférica.

Refrigerante 407c/410 a: Reemplazan el HCFC-22 en el aire acondicionado doméstico en aplicaciones en el calentamiento de bombas. El 407c/410 a sirve para equipos nuevos o en servicio, tiene un desempeño similar del HCFC-22 en el aire acondicionado. El 407c/410 sirve solo para equipos nuevos y es un reemplazo del Freón 22 de mayor capacidad.

Refrigerante 401-a: Algunas aplicaciones de este refrigerante son refrigeradores domésticos, congeladores, equipos de refrigeración para alimentos de media temperatura de humidificadores, máquinas de hielo y máquinas expendedoras de bebidas. Tiene capacidades y eficiencia comparables a las del Freón 12, en sistemas que operan con una temperatura de evaporación de -23°C (-10°F) y superiores.

Refrigerante 401-b: Provee capacidades comparables al CFC-12 en sistemas que operan a temperatura de evaporación debajo de los -23°C (-10°F), haciéndolo adecuado para el uso

en equipos de transporte refrigerado y en congeladores domésticos y comerciales. También puede ser utilizado para reemplazar en equipos que usan R-500.

Refrigerante 402^a: Reemplaza al R-502 en sistemas de media y baja temperatura. Tiene aplicaciones muy variadas en la industria de la refrigeración. Es usado ampliamente en aplicaciones de supermercados, almacenamiento y transporte de alimentos en sistemas de cascada de temperatura.

Ofrece buena capacidad y eficiencia sin sufrir los incrementos de presión y temperatura en la descarga del compresor, lo cuál si sucede cuando un equipo es convertido HCFC-22.

Refrigerante 402^b: Todos los refrigerantes designados HP fueron diseñados para reemplazar al R-502 en sistemas de refrigeración de temperatura media y baja. Está diseñado para el reacondicionamiento de equipos como máquinas de hielo. Además ofrece más alta eficiencia comparado con el R-502 y una capacidad relativamente mejor. Sin embargo el mayor contenido de HCFC-22 resulta en temperaturas de descarga de compresor en un rango de 14°C (25°F).

Refrigerante RL-95: Sustituto de los freones 11 y 113 para el tratamiento preparatorio de los sistemas de refrigeración. Mas, lo importante debe ser la compresión general de la necesidad de regular la operación con los gases refrigerantes, la compresión de todos del

porqué es menester reemplazar los utilizados actualmente por los ecológicos (así les llaman), y, lo que es mejor, ganar con ello mayor conciencia ecológica

Refrigerante LB-12: Mezcla ternaria de hidrocarburos, a partir de gases licuados del petróleo, cuyas propiedades posibilitan que se convierta en un sustituto de los freones en la refrigeración doméstica fundamentalmente; uno porque no se ha generalizado tanto como se quisiera, dos debido a los prejuicios existentes respecto a su efectividad, tres por la carencia de seguridad técnica y de protección para el hombre en lugares donde funcionan cámaras de frío grandes.

Es efectivo, y ecológico, pues no daña la capa de ozono. Además por siete onzas de freón, se utilizan sólo cinco de LB-12. Muchos no cumplen las normas técnicas exigidas para su manipulación, como batuquear bien el recipiente que lo contiene, y echan a los circuitos de los equipos otra sustancia que no es precisamente LB-12, es ahí cuando aparecen refrigeradores que congelan sólo en una parte, o en otros equipos la temperatura no disminuye a los grados deseados".

Hidrocarburos directos: Los hidrocarburos directos son un grupo de fluidos compuestos en varias proporciones de los dos elementos hidrógeno y carbono. Algunos son el Metano, etano, butano, etileno e isobutano. Todos son extremadamente inflamables y explosivos. Aunque ninguno de estos compuestos absorbe humedad en forma considerable, todos son extremadamente miscibles en aceite para todas las condiciones. Su uso ordinariamente está limitado a aplicaciones especiales donde se requieren los servicios de personal especializado.

5.18 CAMARA DE ROCIO

La cámara de rocío consiste en un recinto rectangular, dentro de la cual se presenta el contacto entre el aire tratado y el agua rociada proveniente de las boquillas o aspersores, trayendo como resultado la humidificación del aire a determinadas condiciones.

5.19 BOQUILLAS ROCEADORAS

Son las encargadas de suministrar gotas finas de agua, pero sin producir un rocío que el viento arrastre con facilidad, ya que esto equivale a una pérdida excesiva de flujo.

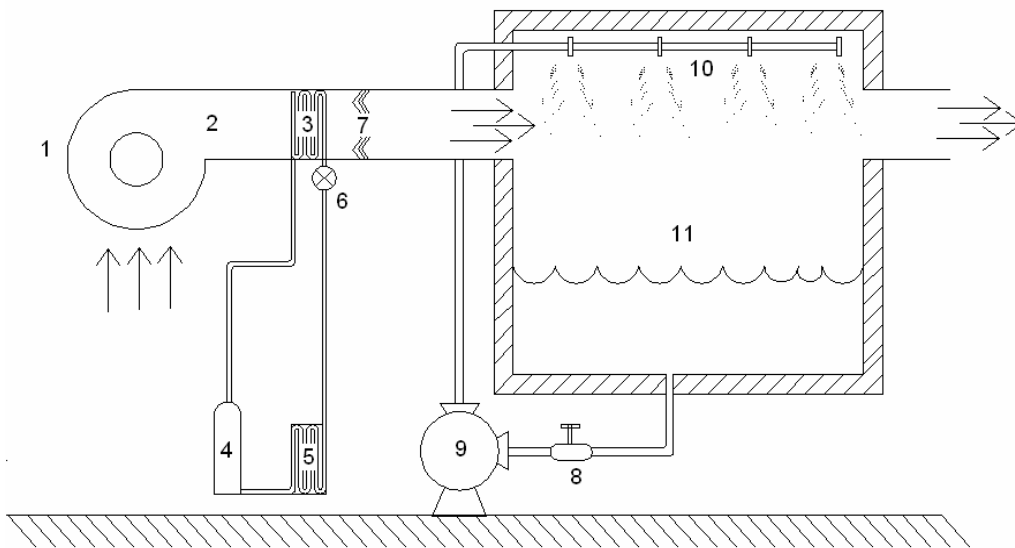


Figura 23 – Componentes del sistema

1 Ventiladores	5 Condensador	9 Bomba
2 Ductos	6 Valv. Expansión	10 Boquillas
3 Evaporador	7 Res. Eléctricas	11 Cámara de rocío
4 Compresor	8 Valv. Globo	

6 DISEÑO

6.1 CÁLCULOS DEL EQUIPO DE REFRIGERACIÓN

Del desarrollo de un óptimo diseño y de la forma en la que la información sea procesada, dependerán la construcción y puesta en marcha de cualquier equipo de refrigeración y aire acondicionado.

Para efectos del diseño obviamos las cargas externas y partiendo de las condiciones reales de nuestro medio; tales como la temperatura ambiente y porcentaje de humedad relativa asumimos la capacidad del compresor (8000 Btu/Hr); para un sistema de Dicloro Fluorometano R-12.

Trabajaremos con una temperatura de evaporación de 48°F y de condensación de 105°F y con presiones de 59.45psia y 141.25psia respectivamente.

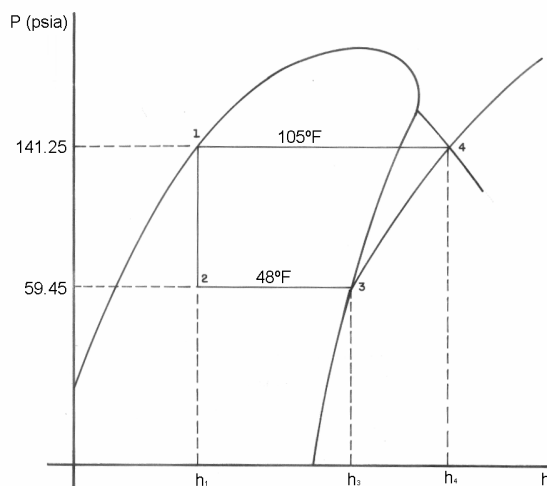


Figura 24 - Diagrama presión-entalpía para R-12

Del diagrama presión-entalpía para R-12 (anexo 1), obtenemos los siguientes valores:

$$h_1 = h_2 = 32.31 \text{ Btu/lb}$$

$$h_3 = 82.24 \text{ Btu/lb}$$

$$s_3 = s_4 = 0.6925 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$$

$$h_4 = 88.83 \text{ Btu/lb}$$

Con estos valores procedemos a calcular las magnitudes significativas de este ciclo:

Efecto refrigerante

$$ER = h_3 - h_2 \quad (12)$$

$$ER = 82.24 - 32.31$$

$$ER = 49.93 \text{ Btu/lb}$$

Ahora tenemos que $12000 \text{ Btu/Hr} = 200 \text{ Btu/min} = 1 \text{ ton}$ por lo cual haciendo la conversión
 $8000 \text{ Btu/Hr} = 133.3 \text{ Btu/min} = 0.667 \text{ ton}$.

Caudal de refrigerante (m)

m = capacidad del compresor

$$ER = 49.43 \text{ Btu}$$

$$1 \text{ lb} \longrightarrow 49.43 \text{ Btu}$$

$$m \longrightarrow 133.3 \text{ Btu/min}$$

De donde:

$$m = \frac{133.3 \text{ Btu/min}}{49.93 \text{ Btu/lb}} \quad (17)$$

$$m = 2.67 \text{ Lb/min}$$

Volumen desplazado en el compresor (V)

$$V = m * v_3 = 2.67 \text{ Lb/min} * 0.678 \text{ Ft}^3/\text{Lb} \quad (18)$$

$$V = 1.81 \text{ Ft}^3/\text{min}$$

Relación de compresión (R_c)

$$R_c = \frac{P_2}{P_1} = \frac{141.25}{59.45} \quad (19)$$

$$R_c = 2.376$$

Calor removido en el condensador

$$q_{conden} = h_1 - h_4 = 88.83 - 32.31 \quad (14)$$

$$q_{conden} = 56.52 \text{ Btu/Lb}$$

Calor del compresor

$$q_{\text{compre}} = h_4 - h_3 = 88.83 - 82.24 \quad (13)$$

$$q_{\text{compre}} = 6.59 \text{ Btu/lb}$$

Potencia teórica del compresor

$$T = \frac{\text{hp}}{\text{ton}} = \frac{\dot{m}(h_4 - h_3)}{42.42} = \frac{(2.67 \text{ Lb/min})(6.59 \text{ Btu/Lb})}{42.42} \quad (15)$$

$$T = 0.4147 \text{ hp}$$

Coefficiente de rendimiento (β)

$$\beta = \frac{ER}{q_{\text{compr}}} = \frac{49.93 \text{ Btu/Lb}}{6.59 \text{ Btu/Lb}} \quad (16)$$

$$\beta = 7.57$$

Volumen real desplazado (V.R.D.)

$$\text{V.R.D.} = \frac{V}{\text{E.V.}} = \frac{1.81 \text{ Ft}^3/\text{min}}{0.75} \quad (20)$$

$$\text{V.R.D.} = 2.413 \text{ Ft}^3/\text{min}$$

Hp real

$$Hp \text{ real} ? \frac{Hp \text{ teorica}}{E.V.} ? \frac{0.4147}{0.75} \quad (21)$$

$$Hp \text{ real} ? 0.5529Hp$$

Factor de Calor Sensible: (FCS)

$$FCS ? \frac{C_s}{C_T} ? \frac{H_s}{H_T} ? \frac{Q_s}{Q_T} \quad (22)$$

Donde:

H_s = Calor sensible

H_t = Calor total

Se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

✍ Condiciones exteriores

T.B.S. = 90°F

T.B.H. = 81.5°F

H.R. = 70%

✍ Condiciones interiores

T.B.S. = 72°F

T.B.H. = 70°F

H.R. = 90%

De donde obtenemos:

$$h_1 = 45.4 \text{ Btu/lb}$$

$$h_2 = 38.5 \text{ Btu/lb}$$

$$h_3 = 34 \text{ Btu/lb}$$

Calor Sensible

$$h_2 - h_3 = 38.5 - 34 = 4.5 \text{ Btu/lb}$$

Calor Latente

$$h_1 - h_2 = 45.4 - 38.5 = 6.9 \text{ Btu/lb}$$

Calor Total

$$C_t = C_s + C_l = 4.5 + 6.9 = 11.4 \text{ Btu/lb}$$

De donde podemos obtener:

$$FCS = \frac{C_s}{C_T} = \frac{4.5}{11.4} = 0.39474 \quad (22)$$

Volumen de aire a través del evaporador

$$FCS = \frac{C_s}{C_T} = \frac{H_s}{H_T} = \frac{Q_s}{Q_T} \quad (23)$$

$$\text{De donde } Q_s = FCS Q_T = 0.39474 * 8000 = 3157.92 \quad (24)$$

Y a su vez el $Q_s = m_s * C_p * \Delta T$

$$m_s = \frac{Q_s}{C_p * \Delta T} \quad (25)$$

De donde,

$m_s =$ Rata masica sensible lbs/hr

$C_p =$ Calor especifico del aire = 0.244 Btu/lb°F

$\Delta T =$ Diferencial de temperatura

$$m_s = \frac{3157.92}{0.244 * (90 - 70)^\circ F} = 647.1147$$

De la carta Psicrometrica (Anexo 3) para 90°F y 70% HR, obtenemos un volumen especifico de 14.32ft³/lb

$$Cfm_1 = m * u = 647.1147 \text{ lbs/hr} * 14.32 \text{ ft}^3/\text{lb} * \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} = 154.2290 \text{ cfm}$$

Por otra parte,

$$m_L = \frac{Q_L}{C_p * \Delta T} = \frac{(8000 * 3157.92)}{0.244 * 20} = 992.2295 \quad (26)$$

$m_L =$ Rata masica latente lbs/hr

De la carta Psicrometrica (Anexo 3) para 72°F y 90% HR, obtenemos un volumen especifico de 13.78ft³/lb

$$Cfm_2 = m * u = 992.2295 \text{ lbs/hr} * 13.78 \text{ ft}^3/\text{lb} * \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} = 227.8820 \text{ cfm}$$

$$cfm_{\text{total}} = cfm_1 + cfm_2 = 154.2290 + 227.8820 = 382.11 \text{ cfm}$$

Velocidad del aire

La velocidad del aire que circula depende directamente del área de los ductos por los cuales va a circular.

Área del ducto:

$$A = 10.5'' * 8.5''$$

$$89.25 \text{ in}^2 = 0.619 \text{ ft}^2$$

$$\text{Velocidad del aire} = \frac{cfm_{Total}}{Area_{ducto}} * \frac{382.11}{0.619} = 617.30 \text{ ft} / \text{min} \quad (27)$$

6.2 CALCULO DEL VENTILADOR

Velocidad del motor : 1600rpm

Flujo de aire : 800 cfm

Gravedad especifica : 1.05 in de H₂O

De donde:

$$D = 12.5 * \frac{1000}{rpm} * \sqrt{SP} = 12.5 * \frac{1000}{1600} * \sqrt{1.05} = 8.0054 \text{ in} \quad (28)$$

$$W = 0.49 * \frac{rpm}{1000} * \frac{cfm}{100} * \frac{1}{SP} = 0.49 * \frac{1600}{1000} * \frac{800}{100} * \frac{1}{1.05} = 5.97334 \text{ in} \quad (29)$$

Estas referencias indican que el ventilador posee 8 1/2'' de diámetro y 4 13/32'' de ancho.

6.3 CALCULO DEL MOTOR DEL VENTILADOR

Teniendo en cuenta la dificultad para encontrar un motor con las características antes mencionadas, optamos por un motor General Electric de 1.5 Hp, 110-220Vts, 1000-1700rpm; para nuestros efectos trabajará con 110Vts y velocidades entre 600 y 1000rpm.

Anexo 5

6.4 CALCULO DE LA BOMBA

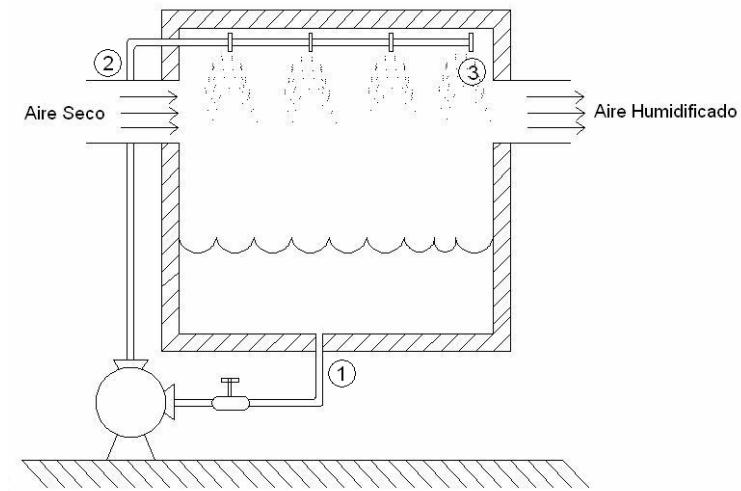


Figura 25 – Instalación Bombas, tuberías y accesorios

1. Realizando el balance entre los puntos 1 -2 obtenemos:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + h_{f1} + H = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad (30)$$

Pero,

P_1 y P_2 = Presión en el punto 1 y 2 respectivamente

- ρ = Peso específico del líquido
- V_1 y V_2 = Velocidad en el punto 1 y 2 respectivamente
- Z_1 y Z_2 = Altura en el punto 1 y 2 respectivamente, desde un eje de referencia
- g = Gravedad
- h_{f1} = Perdidas por fricción desde el punto 1 al punto 2
- H = Cabeza de la bomba

Teniendo como consideraciones que:

- ✍ La presión en el punto 1 es igual a la atmosférica, por lo tanto es cero (0)
- ✍ La velocidad del punto 2 es cero (0). (Punto de bifurcación)
- ✍ La velocidad del punto 1 es cero (Punto quieto y recipiente grande)
- ✍ Punto de referencia es la línea centro de la bomba

Por lo tanto obtenemos la ecuación (30)

$$Z_1 + H + \frac{P_2}{\rho} + Z_2 + h_{f1} \quad (31)$$

Dado que:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (32)$$

$$h_{f1} = f \frac{l_{eq1}}{D_1} \frac{V^2}{2g} = f \frac{l_{eq1}}{D_1} \frac{\left(\frac{4Q}{\pi D^2}\right)^2}{2g} = f \frac{16Q^2 l_{eq1}}{2g \pi^2 D^5} = f \frac{8Q^2 l_{eq1}}{g \pi^2 D^5} \quad (33)$$

Obtenemos

$$H = \frac{P_2}{\rho} + Z_2 + Z_1 + f \frac{8Q^2 l_{eq1}}{g \rho^2 D^5} \quad (34)$$

Pero,

$$K_1 = f \frac{8l_{eq1}}{g \rho^2 D^5} \quad (35)$$

De donde obtenemos

$$H = \frac{P_2}{\rho} + Z_2 + Z_1 + K_1 Q^2 \quad (36)$$

2. Realizando el balance entre los puntos 2 -3 obtenemos:

$$\frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_{f2} = H = \frac{P_3}{\rho} + \frac{V_3^2}{2g} + Z_3 \quad (37)$$

Pero,

P_2 y P_3 = Presión en el punto 2 y 3 respectivamente

V_2 y V_3 = Velocidad en el punto 2 y 3 respectivamente

Z_2 y Z_3 = Altura en el punto 2 y 3 respectivamente, desde un eje de referencia

h_{f2} = Perdidas por fricción desde el punto 2 al punto 3

Teniendo como consideraciones que:

$$\cancel{Z_2} = Z_3$$

$\cancel{}$ La presión en el punto 3 es igual a la atmosférica, por lo tanto es cero (0)

$\cancel{}$ La velocidad del punto 2 es cero (0). (Punto de bifurcación)

Por lo tanto obtenemos de la ecuación (38)

$$\frac{P_2}{\rho} + \frac{V_3^2}{2g} + h_{f2} \quad (38)$$

Dado que:

$$V = \frac{Q_3}{A} = \frac{4Q}{\pi D_2^2} = \frac{Q}{2D_2^2}$$

$$h_{f1} = f \frac{l_{eq1}}{D_1} \frac{V^2}{2g} = f \frac{8Q^2 l_{eq2}}{g^2 D_2^5}$$

Obtenemos

$$\frac{P_2}{\rho} + \frac{V_3^2}{2g} + f \frac{Q^2 l_{eq2}}{8g^2 D_2^5}$$

pero,

$$K_2 = f \frac{l_{eq2}}{8g^2 D_2^5}$$

Obtenemos

$$\frac{P_2}{\rho} + \frac{V_3^2}{2g} + K_2 Q^2 \quad (39)$$

Reemplazando la ecuación (39) en la ecuación (36) obtenemos,

$$H = \frac{V_3^2}{2g} + K_2 + K_1 Q^2 + Z_2 - Z_1 \quad (40)$$

Por otra parte obtenemos:

El volumen de agua que existe en la cámara es:

$$\text{Volumen de agua en la cámara} = 75000 \text{ cm}^3 = 19.81298 \text{ Galones}$$

Se quiere que el volumen de agua que se recircule en la cámara sea de un 50%.

$$\begin{aligned} \text{Caudal que maneja la bomba} &= 19.81298 \text{ Gal/min} \times 0.5 \\ &= 9.90649 \text{ Gal/min} = 1.32429 \text{ ft}^3/\text{min} \end{aligned}$$

Longitudes equivalentes son:

$$\begin{aligned} L_{eq1} &= 4 \text{ codos de } 90^\circ + 2 \text{ codos de } 45^\circ + 1 \text{ tee de } 1'' + \text{ válvula de} \\ &\quad \text{globo de } 1'' + \text{ longitud recta} \\ &= 4(1.7 \text{ ft}) + 2(0.9 \text{ ft}) + 1(5.5 \text{ ft}) + 28 \text{ ft} + (2.8 \text{ m} \times 1 \text{ ft} / 0.3048 \text{ m}) \\ &= 51.2863 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{eq2} &= 2 \text{ codos de } 90^\circ + 8 \text{ tee de } 1/2'' + \text{ longitud recta} \\ &= 2(1.7 \text{ ft}) + 8(3 \text{ ft}) + (1.6 \text{ m} \times 1 \text{ ft} / 0.3048 \text{ m}) \\ &= 32.6493 \text{ ft} \end{aligned}$$

☞ Por tanto tomando $Q = 1.32429\text{ft}^3/\text{min}$, y reemplazándolo en la ecuación 32

obtenemos,

$$V_1 \approx \frac{Q}{A_1} \approx \frac{1.32429\text{ft}^3/\text{min}}{\pi * (1" * \frac{1\text{ft}}{12"})^2} \approx 242.8056\text{ft}/\text{min}$$

$$V_2 \approx \frac{Q}{A_2} \approx \frac{1.32429\text{ft}^3/\text{min}}{\pi * (0.5" * \frac{1\text{ft}}{12"})^2} \approx 971.2157\text{ft}/\text{min}$$

$$NRe_1 = 152.3238 * V_1$$

$$NRe_1 = 152.3238 * 242.8056$$

$$NRe_1 = 36985.0716$$

$$NRe_2 = 152.3238 * V_2$$

$$NRe_2 = 73969.6342$$

Con los números de Reynolds y los E/D del PVC hallamos los factores de fricción (f) correspondientes, en el diagrama de Moody.

Con $NRe_1 = 36985.0716$ y $E/D = 0.00006$, Obtenemos $f_1 = 0.0225$

Con $NRe_2 = 73969.6342$ y $E/D = 0.00012$, Obtenemos $f_2 = 0.0198$

La velocidad del punto 3 es,

$$V_3 \approx \frac{Q/8}{A_3} \approx \frac{(1.32429\text{ft}^3/\text{min})/8}{\pi * (0.25" * \frac{1\text{ft}}{12"})^2} \approx 485.608\text{ft}/\text{min}$$

$$\frac{V_3^2}{2g} = \frac{485.608 \text{ ft/min}}{2 * 115748.03 \text{ ft/min}^2} = 1.0186573 \text{ ft}$$

$$(Z_2 - Z_1) = 65 \text{ cms} * 1 \text{ ft}/30.48 \text{ cms} = 1.99475 \text{ ft}$$

Reemplazando en la ecuación 35

$$K_1 = f \frac{8l_{eq1}}{g D^5} = 0.0225 \frac{8 * 51.2863 \text{ ft}}{115748.03 \text{ ft/min}^2 * 2 * (1/12 \text{ ft})^5} = 2.0108$$

$$K_2 = f \frac{l_{eq2}}{8g D^5} = 0.0198 \frac{32.6493 \text{ ft}}{8 * 115748.03 \text{ ft/min}^2 * 2 * (0.5/12 \text{ ft})^5} = .563238$$

Reemplazando en la ecuación 40 obtenemos,

$$H = \frac{V_3^2}{2g} + K_2 \frac{Q^2}{2g} + K_1 \frac{Q^2}{2g} + Z_2 - Z_1 = 1.018657 + (.563238 + 2.0108) * 1.32429 + 1.99475$$

$$H = 0.43954 \text{ ft}$$

Para este caudal de operación observamos en diferentes curvas de bombas y seleccionamos aquella que suministre una cabeza igual o mayor que la necesaria en el sistema (H=0.43954ft).

De acuerdo a esto, la bomba seleccionada es: (Anexo 6 - 7)

Motobomba centrifuga, Serie Miniflo 1''

Potencia : 0.5 Hp

Amperaje : 5.6 Amp

Voltaje : AC 110

Frecuencia : 60 Hz

Succión * Descarga : 1'' * 1''

Peso neto : 5.7 Kgs

Altura dinámica total : 23mts

6.5 CALCULO DE LAS BOQUILLAS

En el cálculo del número de boquillas existen ciertos factores a tener en cuenta, estos son:

N_b = Numero de boquillas

A_T = Área Transversal de la camara al flujo de agua = 120cm * 50cm = 6000cm²

A_I = Área de impacto de cada boquilla = 754.7 cm²

De donde:

$$N_b \approx \frac{A_T}{A_I} \approx \frac{6000}{754.7} \approx 7.9502 \text{boquillas} \approx 8 \text{boquillas} \quad (41)$$

A su vez el caudal que maneja cada una de las boquillas depende de:

Q_b = Caudal en galones por minuto por boquillas

Q_B = Caudal de la Bomba en gal/min

$$Q_b = \frac{Q_B}{N_b} = \frac{9.90649 \text{ gal/min}}{8} = 1.2383 \text{ gal/min boquilla} \quad (42)$$

6.6 CALCULO DE LAS RESISTENCIAS ELECTRICAS

La cantidad de calor (q) necesaria para elevar la temperatura del caudal de aire proveniente del equipo de acondicionamiento, la obtendremos al añadir al sistema un método de calentamiento por resistencias, apoyándonos en las leyes de Ohm y de Joule.

Parámetros para el cálculo de las resistencias:

- ✍ Caudal de aire del sistema (Q)
- ✍ Calor específico del aire (0.25Btu/lb°F)
- ✍ Densidad del aire (0.075Lb/ft³)
- ✍ Temperatura inicial de trabajo (72°F)
- ✍ Temperatura final deseada (140°F)
- ✍ Factor de conversión Btu/Watt = 3.415

A partir de estos parámetros obtenemos,

$$q = \frac{Q * \rho * C_p * \Delta T}{3.415} * 0.2 = \frac{382.11 * 0.075 * 0.244 * (140 - 72)}{3.415} * 0.2 = 1670.8556 \text{ Watt} \quad (43)$$

El calor disipado en el sistema es igual al calor generado por las resistencias de donde.

$$q = 1670.8556 \text{ Watt} = I^2 * R = \frac{V^2}{R} * R = \frac{V^2}{R} \quad (44)$$

De acá obtenemos,

$$R_{eq} = \frac{V^2}{q} = \frac{(110Vts)^2}{1670.8556 \text{ Watt}} = 7.2418$$

Donde $R_1 = R_2 = R_3$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (45)$$

De donde $R_1 = 3 R_{eq} = 3 * 7.2418 = 21.72$

Con lo que obtenemos un arreglo de resistencias como el que se muestra en la Fig. 26, donde cada resistencia posee su interruptor, lo que nos permite la variación del calor suministrado por las resistencias.

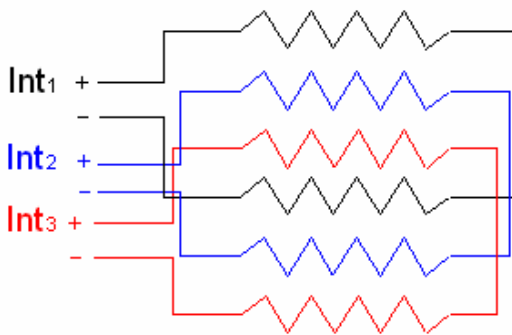


Figura 26 – Arreglo de resistencias

6.7 CAMARA DE ROCIO

Esta fue diseñada de lámina galvanizada calibre 18, para luego ser aislada mediante papel duralfoil. Sus dimensiones son 120cm * 50cm * 100cm de alto, posee un vortice a 45° de 15cm de altura. Posee un colector centrado en la tapa inferior de la camara, pues esta sirve como tanque de almacenamiento del agua de recirculación del proceso.

7 GUIA DE LABORATORIO

7.1 PROCESOS DE HUMIDIFICACION: HUMIDIFICACION ADIABÁTICA

7.1.1 Objetivos: Saber el porque de la Psicrometría y analizar a través de ella la mezcla de aire y de vapor de agua, puesto que el control de temperatura y de humedad son las dos funciones mas importantes de un sistema de aire acondicionado.

Utilización de la carta Psicrométrica.

Analizar los fenómenos de Humidificación y Deshumidificación del aire, y cual es el cambio de las variables que los rigen.

7.1.2 Marco Teórico: La Psicrometría es una parte de la física que se encarga de estudiar las propiedades del aire, cuando estos son sometidos a diferentes procesos (enfriamiento o calentamiento). Una herramienta muy usada para analizar las mezclas del agua y del aire es la carta Psicrometrica.

Una carta Psicrometrica es la representación grafica de las propiedades termodinámicas del aire húmedo. Todas las propiedades esenciales del aire, bulbo seco, bulbo húmedo, punto de rocío, humedad relativa, contenido de humedad y volumen específico, están interrelacionadas y en caso de que se conozcan dos valores cuales quiera los otros pueden conocerse colocando los puntos de los valores conocidos sobre la carta y leyendo los otros valores. De esta manera, se pueden obtener soluciones graficas a muchos problemas el aire húmedo.

Las propiedades Psicrométricas del aire húmedo varían con la presión, de tal manera que, cuando esta es diferente que la atmosférica será necesario ajustar los datos

Psicrométricos correspondientes. El sistema de aire acondicionado y la selección de equipos pueden lograrse con la carta Psicrometrica.

Un concepto muy importante en la carta Psicrometrica es la entalpía. La entalpía es una propiedad calculable en la materia que algunas veces se define en forma general como contenido total de calor.

El aire contiene tanto calor sensible como calor latente y el contenido total del calor del aire o entalpía del aire en una condición dada es la suma de los procesos sensibles y latentes.

Ahora uno de los procesos Psicrométricos que se puede llevar a cabo es el de la humidificación adiabática, en la cual una corriente de aire con ciertas condiciones, se pone en contacto íntimo con agua, aumentando así su contenido de humedad.

7.1.3 Experimentación:

A. De acuerdo a la variación de flujo de aire mida.

1. Las condiciones del aire de entrada.

	Flujo 1	Flujo 2	Flujo 3
T.B.S			
T.B.H			

2. Las condiciones del aire a la salida del condensador.

	Flujo 1	Flujo 2	Flujo 3
T.B.S			
T.B.H			

3. Las condiciones del aire después de las resistencias.

	Flujo 1	Flujo 2	Flujo 3
T.B.S			
T.B.H			

4. Las condiciones del aire a la salida de la cámara de rocío.

	Flujo 1	Flujo 2	Flujo 3
T.B.S			
T.B.H			

- B. Ubicar y graficar de cada uno de los puntos anteriores en la carta Psicrometrica.
- C. Obtención de las otras propiedades del aire a partir de la ubicación de los puntos anteriores.

1. Las condiciones del aire de entrada.

	Flujo 1	Flujo 2	Flujo 3
H.R.			
T.P.R,			
Vol. Espec,			

2. Las condiciones del aire a la salida del condensador.

	Flujo 1	Flujo 2	Flujo 3
H.R.			
T.P.R,			
Vol. Espec,			

3. Las condiciones del aire después de las resistencias.

	Flujo 1	Flujo 2	Flujo 3
H.R.			
T.P.R,			
Vol. Espec,			

4. Las condiciones del aire a la salida de la cámara de rocío.

	Flujo 1	Flujo 2	Flujo 3
H.R.			
T.P.R.			
Vol. Espec,			

D. Calcule el calor absorbido por el aire, para cada uno de los puntos anteriores, a partir de la carta Psicrometrica.

$$Q_s = 1.08 * cfm * \Delta T$$

$$Q_L = 0.68 * GR * \Delta T$$

$$Q_T = Q_s + Q_L$$

E. Calcule la tasa masica de transferencia de calor, para cada uno de los puntos:

$$m_s = \frac{Q_s}{C_p * \Delta T}$$

F. Calcule las variaciones en el proceso, al variar el calor generado en las resistencias. (Uso de los interruptores 1, 2 y 3) y obtenga nuevos resultados para las propiedades a la entrada a la camara y a la salida de esta, grafique los resultados en la carta Psicrometrica.

7.1.4 Análisis del proceso.

7.1.5 Observaciones

7.1.6 Conclusiones

7.1.7 Bibliografía

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Gracias a este proyecto hemos experimentado la combinación de varias funciones de termodinámica, mecánica de fluidos, transferencia de calor y electrotecnia; que sin las cuales no se podría llevar a cabo el proceso de la humidificación del aire.

Se consideró inicialmente definir las variables que rigen la Psicrometría, dándonos cuenta del valor y la facilidad de usar la carta Psicrometrica, para luego poder comprender los cambios en una atmósfera determinada y de acuerdo a esto mejorar sus condiciones o mantenerlas para ciertos parámetros deseados, con los cuales se diseñó este sistema para tratar el aire o para detectar fallas existentes en cualquier equipo.

Todos los parámetros estudiados se monitorearon con sus respectivos elementos de medición (Manómetros, termómetros, medidor de caudal) Obteniendo valores de las condiciones de entrada y salida en el sistema, con los que establecimos comparaciones y así analizar los cambios que sufrieron las variables que rigen la Psicrometría.

Vimos como el aire después de pasar por el serpentín llega a una temperatura de rocío o de saturación, donde se da la condensación del vapor de agua presente en el aire. El cual sale con una alta humedad relativa, y que es luego reducida por un calentamiento sensible mediante las resistencias eléctricas. Todo este proceso fue con el fin de acondicionar el aire, para luego humidificarlo y que el proceso fuese más palpable, dado que las condiciones del

aire en nuestro medio son de una humedad alta por lo que la absorción de esta es mínima y el proceso es poco visible.

Ahora en la cámara de roció este aire gana humedad originando una pérdida de calor sensible y una ganancia de calor latente proporcionada por el agua al evaporarse, todo este fenómeno realizado supuestamente de una manera adiabática, pero nos dimos cuenta que en la realidad si hay cierta transferencia de calor del sistema al medio lo cual genera una leve desviación en el resultado del proceso

En general los resultados son bastantes satisfactorios logrando una importante apreciación del fenómeno.

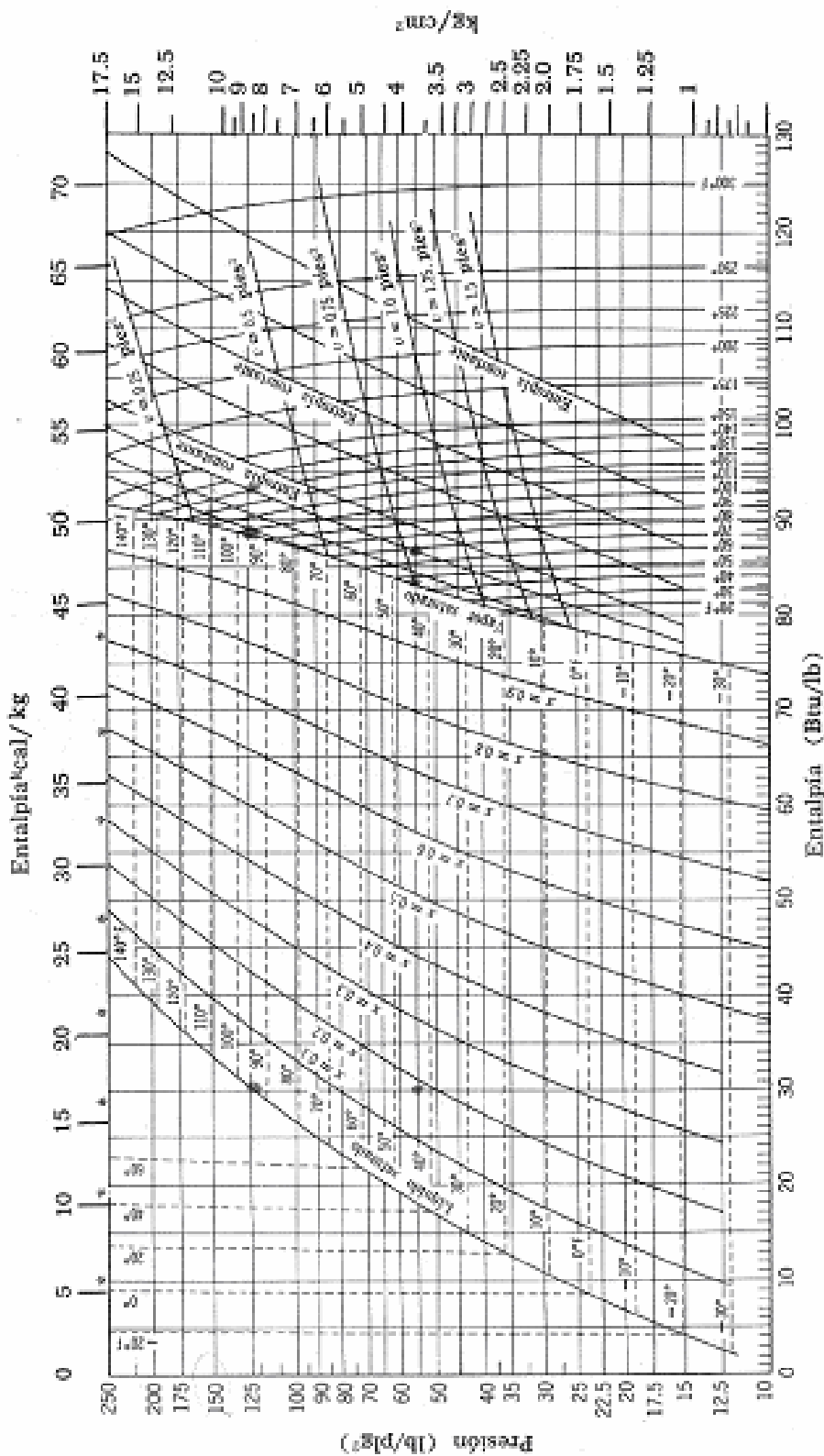
Por seguridad del equipo se recomienda que al utilizarlo poner a funcionar primero que todo el ventilador antes de arrancar cualquiera de los demás sistemas para evitar su recalentamiento y que no se quemen. Además atender todas las instrucciones dadas en el laboratorio y si no sabe algo, mejor pregunte antes de actuar.

BIBLIOGRAFÍA

- ? QUINCHIA, Rigoberto. Ventilación Industrial.
- ? CARRIER, Air Conditionary Co. 3ed. Barcelona, Marcombo, 1.976.
- ? DOSSAT, Roy J. Principios de Refrigeración. 1ed. México, CECSA, 1.972.
- ? JENNIGS, Burgues & Lewis, Samuel R. Aire Acondicionado y Refrigeración. 8ed. México, Editorial Continental. 1.978.
- ? ASHRAE HANDBOOK, 1.997
- ? STREETER, Víctor L. Mecánica de Fluidos. México, Mc. Graw Hill, 1.971.
- ? HERNANDEZ, Eduardo. Fundamentos de Aire Acondicionado y Refrigeración. 15reimp. México, Limusa Noriega Editores, 1.997.
- ? MILLS, Anthony F. Transferencia de Calor. Colombia, Mc. Graw Hill, 1.999.
- ? MANUAL DE REFRIGERACION DE YORK

ANEXOS

Anexo 1 - Diagrama presión-entalpía para refrigerante 12



Anexo 2 - Propiedades del refrigerante 12, líquido y vapor saturado

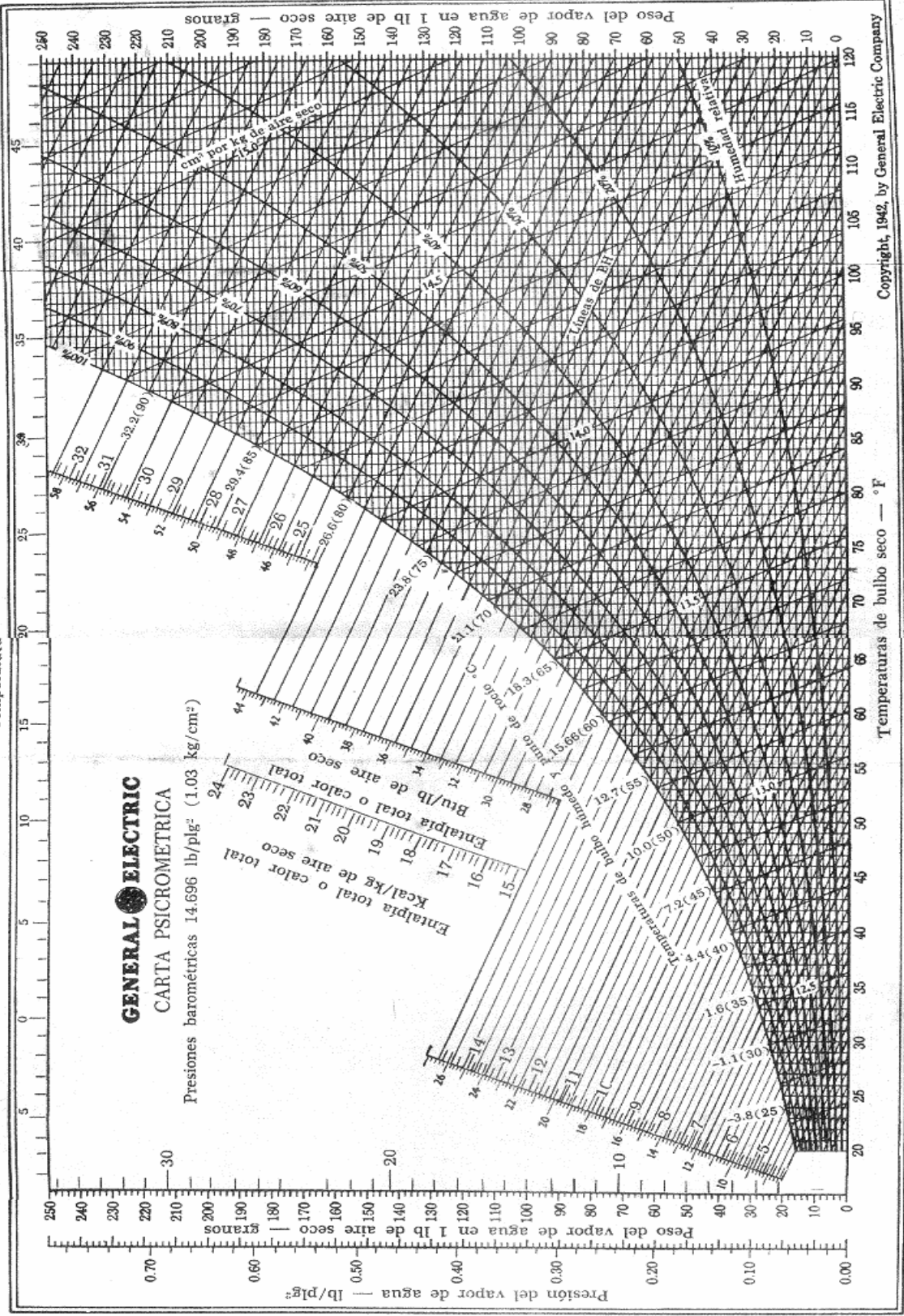
Difluorodichlorometano CF_2Cl_2

TEMPERATURA t °C	PRESIÓN p kg/cm ²	VOLUMEN ESPECÍFICO		ENTALPIA		CALOR DE VAPORIZACIÓN r kcal/kg	ENTROPIA	
		DEL LIQUIDO v_l l/kg	DEL VAPOR v_v m ³ /kg	DEL LIQUIDO i_l kcal/kg	DEL VAPOR i_v kcal/kg		DEL LIQUIDO s_l kcal/kg °K	DEL VAPOR s_v kcal/kg °K
-105	0,0077	0,5950	16,0	77,57	124,70	47,13	0,8950	1,1768
-100	0,0120	0,5991	10,100	78,69	125,28	46,69	0,9025	1,1723
-95	0,0189	0,6034	6,580	79,80	125,86	46,09	0,9095	1,1681
-90	0,0289	0,6078	4,424	80,89	126,44	45,55	0,9156	1,1643
-85	0,0433	0,6123	3,039	81,96	127,01	45,05	0,9214	1,1609
-80	0,0632	0,6169	2,135	83,05	127,60	44,55	0,9271	1,1577
-75	0,0900	0,6217	1,535	84,11	128,19	44,08	0,9325	1,1550
-70	0,1258	0,6234	1,1259	85,84	128,88	42,99	0,94050	1,15219
-65	0,1721	0,6289	0,8413	86,75	129,41	42,66	0,94500	1,15001
-60	0,2315	0,6349	0,6394	87,68	130,00	42,32	0,94946	1,14806
-55	0,3065	0,6406	0,4930	88,63	130,59	41,96	0,95387	1,14627
-50	0,3999	0,6468	0,3854	89,59	131,18	41,59	0,95824	1,14468
-45	0,5150	0,6527	0,3050	90,56	131,77	41,21	0,96256	1,14324
-40	0,6551	0,6592	0,2441	91,55	132,36	40,81	0,96685	1,14193
-35	0,8238	0,6658	0,1973	92,55	132,95	40,40	0,97110	1,14078
-30	1,0245	0,6725	0,1613	93,57	133,54	39,97	0,97532	1,13975
-25	1,2616	0,6793	0,1331	94,61	134,13	39,52	0,97950	1,13879
-20	1,5396	0,6868	0,1107	95,62	134,71	39,06	0,98365	1,13798
-15	1,8622	0,6940	0,09268	96,72	135,29	38,57	0,98778	1,13723
-10	2,2342	0,7018	0,07813	97,80	135,87	38,07	0,99188	1,13657
-5	2,6602	0,7092	0,06635	98,89	136,43	37,54	0,99595	1,13598
0	3,1465	0,7173	0,05667	100,00	136,99	36,99	1,00000	1,13546
5	3,6959	0,7257	0,04863	101,12	137,54	36,42	1,00402	1,13497
10	4,3135	0,7342	0,04204	102,26	138,08	35,82	1,00803	1,13455
15	5,0076	0,7435	0,03648	103,42	138,61	35,19	1,01201	1,13414
20	5,7786	0,7524	0,03175	104,59	139,12	34,53	1,01598	1,13378
25	6,6363	0,7628	0,02773	105,77	139,61	33,84	1,01993	1,13344
30	7,5810	0,7734	0,02433	106,97	140,08	33,11	1,02387	1,13310
35	8,6264	0,7849	0,02136	108,18	140,51	32,33	1,02778	1,13273
40	9,7707	0,7986	0,01882	109,41	140,94	31,53	1,03167	1,13236
45	11,023	0,8104	0,01656	110,66	141,33	30,67	1,03556	1,13197
50	12,386	0,8244	0,01459	111,94	141,73	29,79	1,03945	1,13163
55	13,868	0,8410	0,01316	113,25	142,13	28,88	1,04333	1,13134
60	15,481	0,8568	0,01167	114,57	142,49	27,92	1,0472	1,13111
65	17,216	0,8741	0,01036	115,92	142,82	26,90	1,0511	1,1307
70	19,096	0,8936	0,00919	117,29	143,09	25,80	1,0550	1,1302
75	21,125	0,9149	0,00814	118,69	143,31	24,62	1,0590	1,1297
80	23,290	0,9398	0,00723	120,13	143,46	23,33	1,0629	1,1290
85	25,620	0,9680	0,00639	121,61	143,51	21,90	1,0669	1,1281
90	28,107	1,0009	0,00564	123,12	143,41	20,29	1,0700	1,1269
95	30,771	1,0416	0,00497	124,69	143,11	18,42	1,0714	1,1252
100	33,614	1,0952	0,00437	126,36	142,51	16,15	1,0794	1,1227
105	36,654	1,1736	0,00359	128,13	141,51	13,38	1,0841	1,1195
110	39,874	1,3513	0,00266	131,44	138,89	7,45	1,0917	1,1111
*) 111,5	40,879	1,7934	0,00179	134,75	134,75	0	1,1016	1,1016

*) Punto crítico.
Según: Kinetic Chemicals, Inc., Wilmington, Dela., 1943 (-105 hasta -75 °C).
Normas para máquinas frigoríficas, 5.ª ed., Editorial C. F. Müller, Karlsruhe (-70 °C hasta t_{kr}).

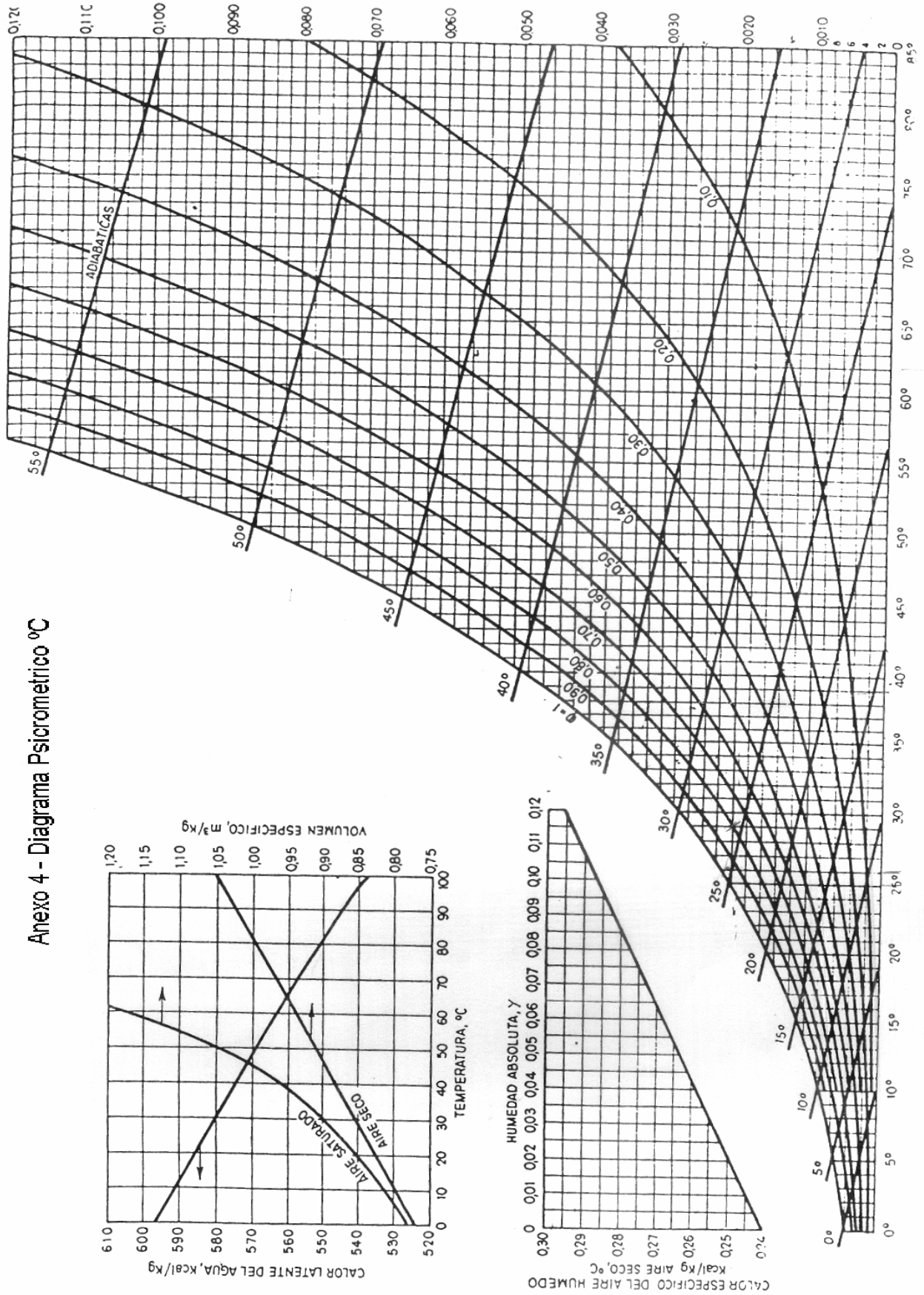
Anexo 3 - Carta Psicrometrica °F

Temperatura de bulbo seco — °C



Copyright, 1942, by General Electric Company

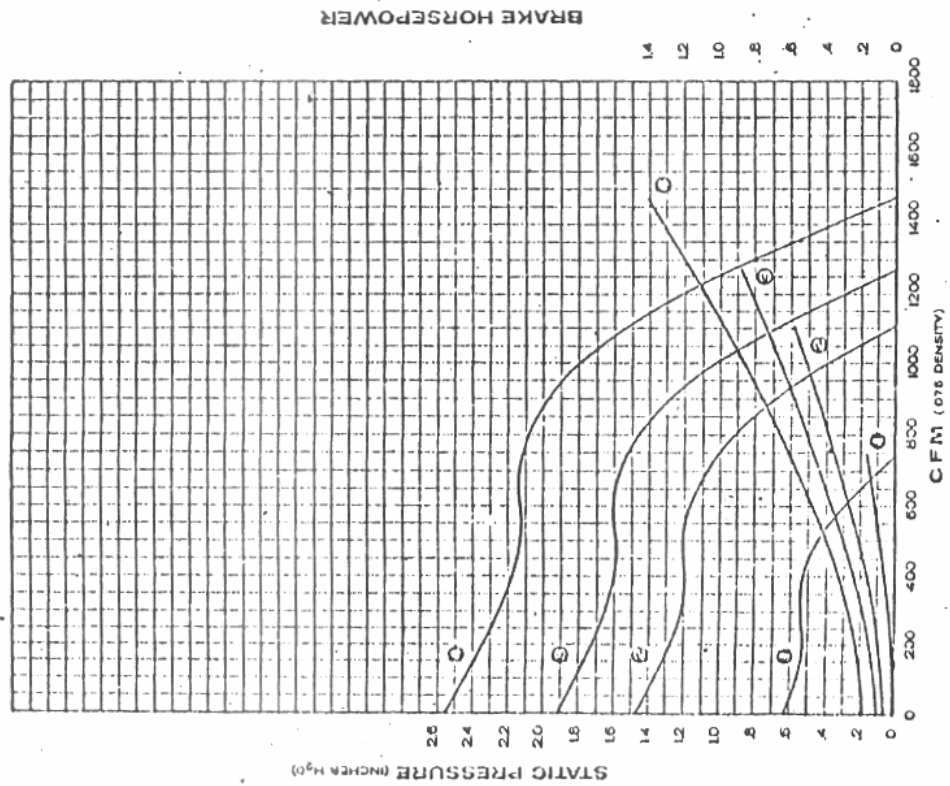
Anexo 4 - Diagrama Psicrometrico °C



Anexo 5 - Curvas del características del motor del ventilador

816-326-2

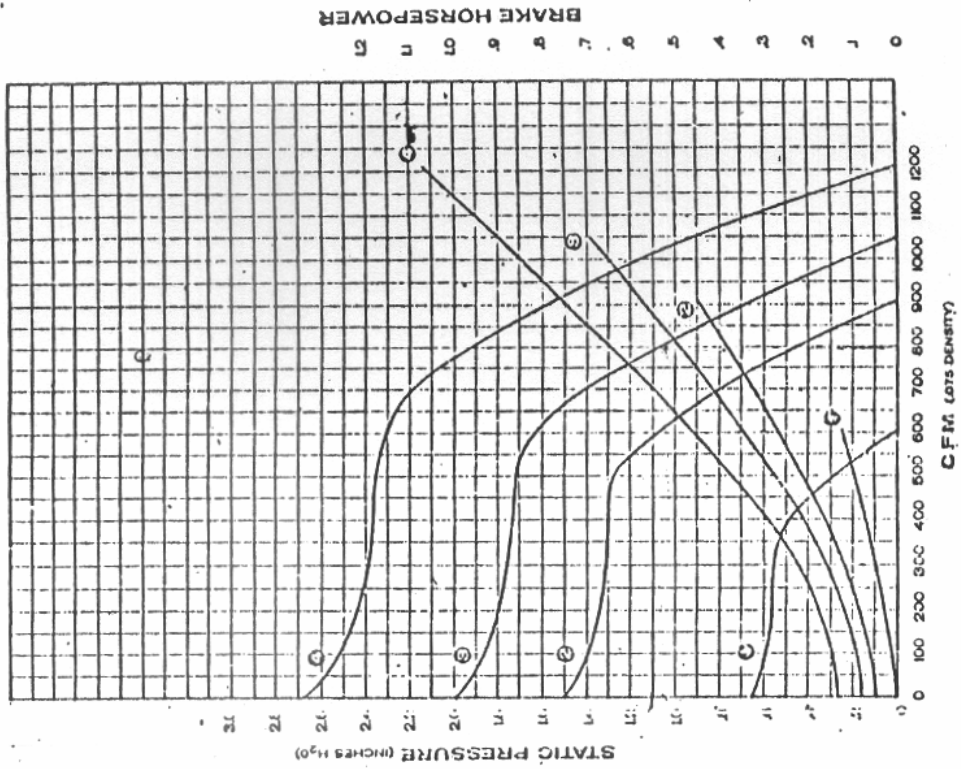
- LEGEND**
- 1. 1000 RPM
 - 2. 1500 RPM
 - 3. 1725 RPM
 - 4. 2000 RPM



Maximum Recommended Operating Speed: 2000 RPM

816-316-1

- LEGEND**
- 1. 1000 RPM
 - 2. 1500 RPM
 - 3. 1725 RPM
 - 4. 2000 RPM



Maximum Recommended Operating Speed: 2000 RPM

BRAKE HORSEPOWER

BRAKE HORSEPOWER

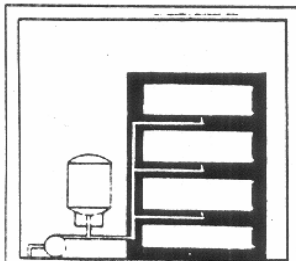
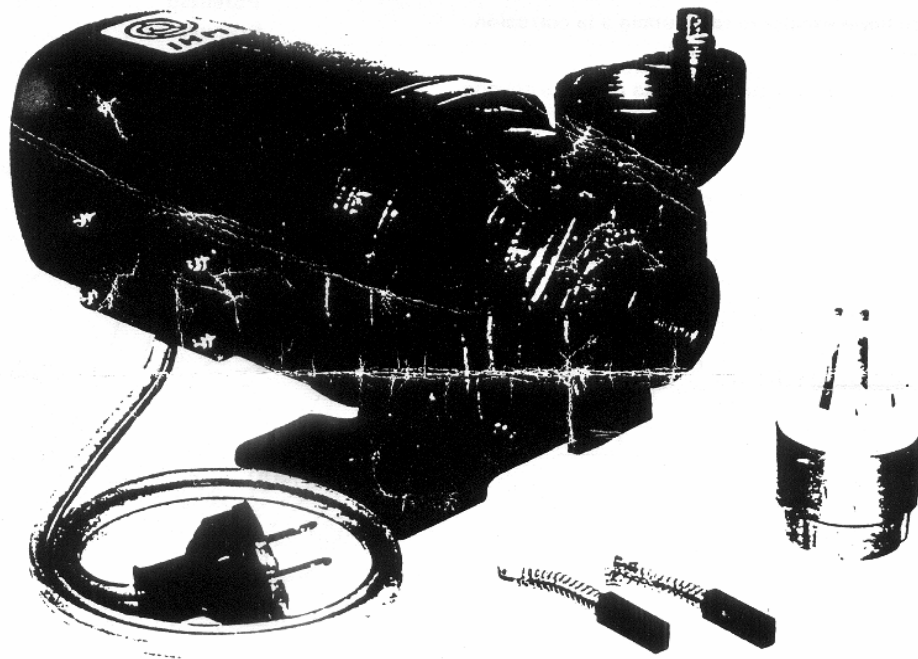
Anexo 6 - Bomba centrífuga



motobomba centrífuga

miniflo

1 pulgada



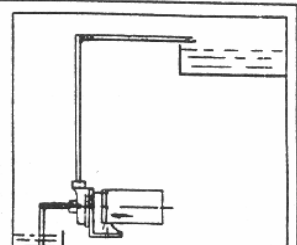
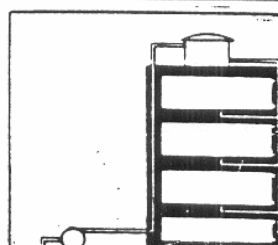
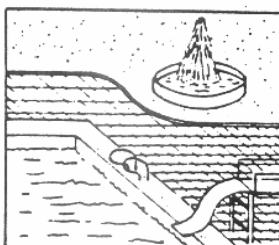
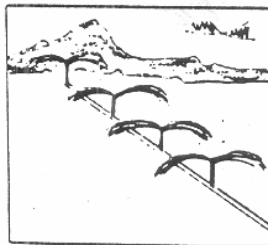
INCLUYE:

* VALVULA DE PIE 1" * JUEGO ESCOBILLAS * CABLE CON CLAVIJA

AHORRO DE ENERGIA

FACIL INSTALACION

LIBRE DE PROBLEMAS



Anexo 7 - Curva y características de la bomba

Características de Diseño

- **ALTA PRESION**

La bomba Centrífuga Miniflo es de una etapa, con rotor tipo cerrado acoplado en forma monoblock. Es de construcción simple pero con el rendimiento de una bomba de alta presión.

- **AHORRO DE ENERGIA**

Por su sistema de acople del rotor al eje del motor, opera silenciosamente y con gran ahorro de la potencia requerida.

- **INSTALACION SIMPLE**

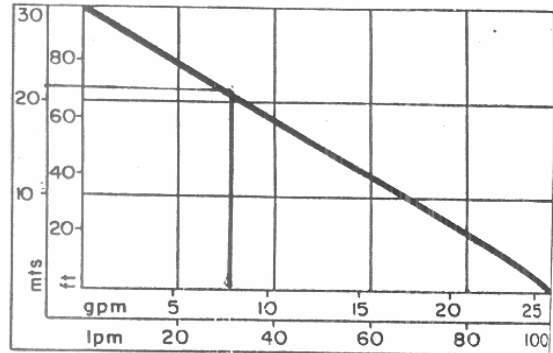
El pequeño tamaño de la bomba permite colocarla en su pedestal aún en posiciones inclinadas o paredes verticales, necesitando un mínimo de espacio para soportarla.

- **NINGUN AJUSTE ESPECIAL**

No se requieren ensambles, alineaciones o acoples. La reparación es muy simple y puede ser hecha por cualquier personal de mantenimiento.

- El rotor en plástico tiene excelente resistencia a la corrosión. Sin contaminación.

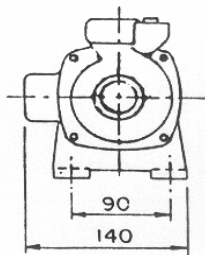
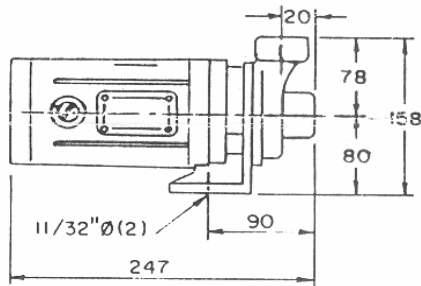
- Sello mecánico de alta calidad que garantiza perfecto sellado del eje.



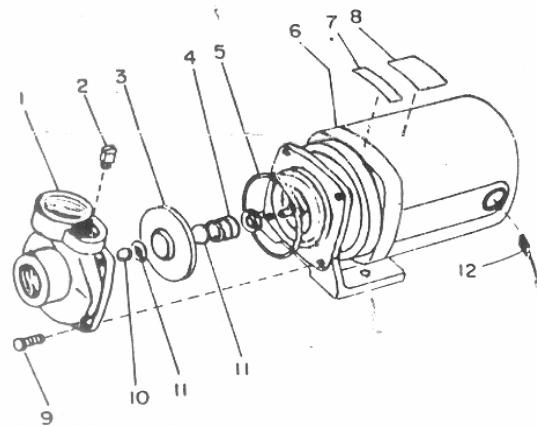
Especificaciones

Voltaje AC 110
 Amperaje 5.6 A
 Potencia 250 W
 Frecuencia 60 Hz
 RPM 6400
 Succión x Desc. 1" x 1"
 Peso Neto 5.7 Kgs

Dimensiones (m.m.)



Lista de Partes



No.	DESCRIPCION	No.	DESCRIPCION
1	Carcasa	7	Placa de Identific
2	Tapón	8	Calcomanía
3	Rotor	9	Tornillo
4	Sello Mecánico	10	Tuerca
5	Arosello	11	Arandela
6	Motor	12	Escobilla



**industrias
hidromecánicas Itda.**

Calle 18 No. 39 B- 53
 Tels.: Conm. 269 69 11
 Fax: 268 33 67
 Apartado 80049 - Bogotá Colombia

Distribuido por: