

300617

8  
2ej



**UNIVERSIDAD LA SALLE**

ESCUELA DE INGENIERIA  
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

**DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE UN CUARTO DE  
PRUEBAS PARA REFRIGERADORES Y  
CONGELADORES DOMESTICOS**

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A**

**ALBERTO GARCIA MARTINEZ**

DIRECTOR DE TESIS: ING. ENRIQUE GARCIA DELGADO

MEXICO, D.F. **FALLA DE ORIGEN** 1995



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# Í N D I C E

	Página
Dedicatorias.....	i
Agradecimientos.....	ii
Introducción.....	iii
<b>Capítulo I. Descripción General.....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo II. Construcción del Cuarto.....</b>	<b>3</b>
II.1 Dimensiones.....	3
II.2 Selección del material de paredes, techo y piso.....	3
II.3 Construcción.....	7
II.3.1 Preparación del piso y base de las paredes.....	7
II.3.2 Estructura.....	8
II.3.2.1 Estructura de paredes laterales, trasera y delantera.....	8
II.3.2.2 Estructura del techo.....	9
II.3.2.3 Estructura de las paredes falsas.....	10
II.3.3 Falso plafón.....	11
II.3.4 Instalación de la puerta.....	11
II.4 Alumbrado interior.....	12
II.4.1 Sistemas de iluminación.....	13
II.4.2 Análisis de actividades.....	14
II.4.3 Cálculo de luminarias.....	15
II.5 Suministro de energía eléctrica.....	18
II.6 Instalación de contactos para los refrigeradores en prueba.....	18
II.7 Paneles de conexión de termopares.....	19

<b>Capítulo III. Sistema de Aire Acondicionado.....</b>	<b>21</b>
III.1 Calefacción.....	21
III.2 Tipos de calentadores.....	24
III.2.1 Calentadores de espacio de gas y aceite.....	24
III.2.2 Calentadores eléctricos.....	25
III.2.3 Horno eléctrico.....	26
III.3 Selección del sistema.....	30
III.4 Determinación de la carga de refrigeración y calefacción.....	32
III.4.1 Consideraciones y detalles de construcción.....	36
III.4.2 Cálculo de la carga de refrigeración.....	37
III.4.3 Cálculo de la carga de calefacción.....	41
III.5 Condiciones de operación del sistema.....	44
III.5.1 Temperatura de evaporación.....	44
III.5.2 Temperatura de condensación.....	45
III.5.3 Selección del refrigerante.....	46
III.5.4 Análisis del ciclo de refrigeración.....	48
III.6 Selección de unidades.....	54
III.6.1 Selección del compresor.....	54
III.6.2 Selección del condensador.....	56
III.6.3 Selección del evaporador.....	57
III.6.4 Selección del dispositivo de control de flujo del refrigerante.....	59
III.6.5 Determinación de la capacidad de la manejadora de aire.....	62
III.7 Descripción del equipo.....	64
III.7.1 Unidad condensadora.....	64
III.7.2 Manejadora de aire.....	65
III.7.3 Resistencias eléctricas.....	65

	Página
III.8 Instalación del equipo .....	66
<b>Capítulo IV. Sistema de Control</b> .....	<b>72</b>
IV.1 Sistemas de control en calefacción y aire acondicionado.....	72
IV.2 Diseño .....	74
IV.3 Descripción de características del equipo del sistema de control .....	76
IV.4 Instalación .....	78
<b>Capítulo V. Tablero de Medición y Operación</b> .....	<b>79</b>
V.1 Descripción de objetivos de pruebas NOM y AHAM.....	80
V.2 Definición de instrumentos del tablero de medición y operación.....	82
V.3 Especificaciones de los instrumentos de medición.....	84
V.4 Relación de instrumentos del tablero de medición.....	84
V.5 Funcionamiento, medio de registro e instalación.....	85
V.6 Diagramas de conexión de los instrumentos.....	86
<b>Capítulo VI. Presupuesto de Materiales y Equipo</b> .....	<b>87</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>90</b>
<b>Apéndice A. Planos</b> .....	<b>91</b>
Plano 1. Distribución interior del cuarto de pruebas .....	92
Plano 2. Diseño del piso y base .....	93
Plano 3. Estructura de las paredes laterales, trasera y delantera .....	94
Plano 4. Localización de estructura para paredes laterales, trasera y delantera .....	95
Plano 4a. Corte transversal Estructura de paredes .....	96

	<b>Página</b>
Plano 5. Estructura del techo .....	97
Plano 6. Localización del marco para el techo .....	98
Plano 6a. Corte transversal Estructura del techo .....	99
Plano 7. Localización de estructura de paredes falsas .....	100
Plano 7a. Corte transversal Soporte de paredes falsas .....	101
Plano 8. Falso plafón .....	102
Plano 9. Circuito eléctrico de luminarias .....	103
Plano 10. Localización de ducto, contactos y paneles de termopares .....	104
Plano 11. Diagrama de instalación de la unidad condensadora .....	105
Plano 12. Diagrama eléctrico de las resistencias, unidad condensadora y manejadora de aire .....	106
Plano 13. Diagrama eléctrico de controles del compresor, manejadora de aire y resistencias .....	107
Plano 14. Localización de la manejadora de aire .....	108
Plano 14a. Detalle de la manejadora de aire .....	109
Plano 15. Sistema de control .....	110
Plano 16. Tablero de operación y medición. Línea típica de energía .....	111
Plano 17. Tablero de operación y medición. Medidores digitales .....	112
<b>Apéndice B. Tablas .....</b>	<b>113</b>
Tabla 1. Coeficientes de conductividad térmica para diversos materiales. ....	114
Tabla 2. Factores de utilización .....	115
Tabla 3. Niveles de iluminación para diversas tareas .....	116
Tabla 4. Ganancia de calor por persona .....	117
Tabla 5. Promedio de cambios de aire en 24 horas para cámaras de almacenamiento debido a la apertura de puertas e infiltración .....	118

	<b>Página</b>
Tabla 6. Calor removido en aire de enfriamiento a las condiciones de cámaras de enfriamiento.....	119
Tabla 7. Propiedades del líquido y vapor saturados de R-22 .....	120
Tabla 8 Ventiladores Tipo LF (Baja presión curvados hacia adelante).....	123
<b>Bibliografía .....</b>	<b>124</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>125</b>

## **DEDICATORIA**

**A mis padres, Alberto y Sara, por quienes viviré eternamente agradecido por haberme dado la vida, cuidados, apoyo y por saber conducir mi formación durante la vida.**

**A mis hermanas, Ma. del Rocío, Elsa Marina y Adriana Patricia, por impulsarme para el logro de esta meta.**

**A mis sobrinos Marina, José Fernando y Luis Alberto.**

## **AGRADECIMIENTOS**

**Por este conducto, me permito agradecer al Ing. Eduardo Medina sus acertadas observaciones y consejos hacia mi durante el desarrollo de este trabajo, ayudando de este modo a la conclusión del mismo.**

## INTRODUCCIÓN

Los fabricantes de refrigeradores domésticos evalúan los diferentes modelos existentes y los prototipos de los modelos a existir, con objeto de determinar la calidad de su diseño y el nivel de cumplimiento con las especificaciones propias de cada modelo, establecidas por la misma empresa y por las normas nacionales e internacionales.

La importancia de la acertada evaluación de la unidad radica en evitar la pérdida de miles de millones de pesos en producción defectuosa y proporcionar seguridad para los consumidores. Más aún, en el caso de instituciones que se dedican a la investigación, la confiabilidad de sus resultados debe ser óptima, ya que en ello se sustenta el desarrollo de nuevas tecnologías.

La evaluación de los refrigeradores y congeladores domésticos consiste esencialmente en determinar:

- La resistencia mecánica del gabinete y sus partes.
- La eficiencia térmica.
- El funcionamiento eléctrico.
- El consumo de energía.
- La seguridad para el usuario.

No obstante que las especificaciones sean diferentes, las pruebas para refrigeradores y congeladores que determinan lo anteriormente descrito son establecidas a nivel nacional e internacional por organismos tales como D.G.N. (Dirección General de Normas), de México; A.N.S.I. (American National Standards Institute), de Estados Unidos; C.S.A. (Canadian Standards Association), de Canadá, entre otras.

Para el propósito de este trabajo se toman como referencia las normas aplicables para refrigeradores y congeladores domésticos dictadas por **D.G.N. y A.N.S.I.**, las cuales son: **NOM J 411 - 1981 "Aparatos Electrodomésticos para la Conservación de Alimentos a Bajas Temperaturas"**, y **AHAM STD HRF - 1, 1988 "Household Refrigerators / Household Freezers"**, respectivamente.

El presente documento es una propuesta de diseño y construcción de un cuarto de pruebas para refrigeradores y congeladores domésticos, necesario para determinar la eficiencia térmica de los mismos, ya que según las normas aplicables, la ejecución de las pruebas debe realizarse en ambientes de temperatura controlada, sean de 21 °C (70 °F), 32 °C (90 °F) o 43 °C (110 °F), para así obtener resultados bajo ciertos marcos de referencia., no obstante que los objetivos de cada prueba son diferentes entre si.

La **NOM J 411 - 1981** establece que las especificaciones térmicas pueden ser comprobadas mediante la ejecución de las siguientes pruebas:

- Abatimiento de Temperatura Sin Carga a 43 °C.
- Enfriamiento Máximo a 43 °C.
- Congelamiento de Cubos de Hielo a 43 °C.
- Ciclo a 32 °C.

Por su parte, la norma **AHAM HRF - 1, 1988** establece que la determinación del funcionamiento térmico de un refrigerador puede ser llevada a cabo a través de las siguientes pruebas:

- No Load Pull Down Test. at 110 °F.
- Simulated Load Test. at 70 °F, 90 °F and 110 °F.

- Ice Making Test. at 90 °F.

La característica principal del cuarto de pruebas es mantener y controlar la temperatura ambiente interior para poder así ejecutar las pruebas mencionadas anteriormente, asegurando su buen funcionamiento a través de la selección y aplicación del material, equipo y accesorios que lo constituirán.

## CAPÍTULO I

### DESCRIPCIÓN GENERAL

El cuarto de pruebas es diseñado y construido bajo los siguientes criterios.

1. El cuarto debe ser capaz de controlar y mantener uniforme la temperatura ambiente en su interior entre 13 °C (55 °F) y 49 °C (120 °F), con una carga de 8 refrigeradores activos o en funcionamiento en su interior, mediante los sistemas y controles de calefacción y aire acondicionado.

2. El cuarto se diseña de tal modo que pueda ser usado para ejecutar pruebas hasta a ocho refrigeradores simultáneamente. Las dimensiones del cuarto evitan que los ocho gabinetes debidamente acomodados reciban calor de radiación de los gabinetes adyacentes, lo que afectaría los resultados obtenidos, ya que según el **Inciso 8.6.2.1 "Cuarto de pruebas"** de la norma **NOM J 411 - 1981** establece que el aparato en prueba no debe recibir radiación directa de calefactores ni emitir radiación a enfriadores con temperaturas que difieran en más de 5 °C de la temperatura del cuarto. La norma **AHAM HRF - 1, 1988**, en el **Inciso 7.4.2 "Test sample"** establece que todos los lados del gabinete deberán estar separados a más de 10 plg. de las paredes y techo del cuarto, y separado por lo menos 20 plg. de los gabinetes adyacentes. Las distancias establecidas por **AHAM HRF - 1, 1988** son tomadas en cuenta para la definición de las dimensiones del cuarto de pruebas.

3. Se habilita un tablero de medición y operación, con el equipo apropiado para la medición de los parámetros de los refrigeradores que se encuentren en el interior bajo prueba, como son la temperatura, las variables eléctricas y el tiempo. Las especificaciones del equipo a emplear cumplen con los requerimientos establecidos en **AHAM HRF - 1,**

1988, Inciso 7.2 "Instruments" y adoptados por NOM J 411 - 1981, Inciso 8.6.2. Las especificaciones de los instrumentos se indican en el **Capítulo V "Tablero de Medición y Operación."**

4. El interior del cuarto contará con 10 líneas de energía, independientes entre sí. Cada una de éstas alimentará de energía eléctrica a los gabinetes en prueba.

5. Para evitar al máximo la transferencia de calor con el exterior, se elegirá el material aislante apropiado para el piso, paredes y techo del cuarto.

6. Un sistema de aire acondicionado y calefacción se diseñará para mantener la temperatura interior.

## **CAPÍTULO II**

### **CONSTRUCCIÓN DEL CUARTO**

#### **II.1 Dimensiones.**

Como se señaló en el **Capítulo I**, el cuarto de pruebas se usa para efectuar pruebas hasta a 8 refrigeradores simultáneamente. De acuerdo a lo anterior, las dimensiones del cuarto son apropiadas para ubicar 8 gabinetes, evitando así que durante la prueba estén a distancias tales que puedan recibir calor por radiación debido a los gabinetes adyacentes.

Las dimensiones exteriores del cuarto son 7.0 m. (23 pies) x 4.3 m. (14 pies) x 4.0 m. (13 pies) (Profundo x ancho x alto). Estas dimensiones son establecidas tomando en cuenta el ancho promedio de un refrigerador, el cual es de 0.8 m., y son las requeridas para albergar 8 refrigeradores, 4 en cada lado, que distribuidos en el interior satisfacen los requerimientos de distancia establecidos en el punto 2 del **Capítulo I**.

El **Plano 1 del Apéndice A** presenta las dimensiones exteriores y la distribución interior del cuarto indicando la localización de los paneles de conexión de termopares y de la charola para alojar el tendido de los cables para la alimentación eléctrica de los refrigeradores en prueba. Las especificaciones de los paneles de conexión de termopares, de la charola de conductores eléctricos y de los receptáculos se establecerán posteriormente en este capítulo.

#### **II.2 Selección del material de paredes, techo y piso.**

El material de las paredes, techo y piso del cuarto debe ser elegido apropiadamente

para evitar al mínimo posible el intercambio de calor entre el interior y el medio ambiente circundante.

El criterio de selección del material aislante se basa en el análisis de la conductividad térmica, de los diferentes tipos existentes y a su aplicación.

**Nota:** Los valores presentados a continuación de conductividad térmica de los diferentes materiales aislantes serán expresados en unidades del Sistema Ingles, por estar así expresados en las tablas tomadas como referencia.

La conductividad térmica (**K**) se define como la cantidad de transmisión de calor que pasa a través de un material, expresada en (**BTU**) (plg) / (hr) (pie<sup>2</sup>) (°F). Diferentes materiales ofrecen diferente resistencia al flujo de calor. Dado que el calor transmitido por conducción varía directamente con el tiempo, e inversamente al espesor del material, se deduce que para reducir la transmisión de calor, la conductividad térmica **K** debe ser tan pequeña como sea posible y el material debe ser más grueso.

La transferencia de calor a través de cualquier material, sea por convección o radiación, es afectada por la resistencia de la superficie al flujo de calor, lo cual está determinado por el tipo de superficie (rugoso o suave), su posición (vertical u horizontal), sus propiedades reflectivas y la dirección del flujo de aire sobre la superficie. Pruebas extensivas han hecho muchos laboratorios para determinar valores precisos de transmisión de calor a través de los más comunes materiales de construcción y estructuras. Ciertos materiales tienen una alta resistencia al flujo de calor (baja conductividad térmica) y son usados por consiguiente como aislamiento para disminuir la transmisión de calor hacia el espacio interior que se pretenda aislar.

Las clasificaciones generales de las formas de aislamiento son:

- Material flojo.
- Material flexible.
- Material rígido o semirígido.
- Material reflectivo.
- Material en forma de espuma.

El aislamiento con material flojo y los aislamientos flexibles tales como fibra de vidrio en mantas o en rollos son comunes en las construcciones residenciales y son provistos con un material que actúa como barrera de vapor. La conductividad térmica de este material es de  $0.32 \text{ (BTU) (plg) / (hr) (pie}^2\text{) (}^\circ\text{F)}$ , según la **Tabla 1 del Apéndice B, "Coeficientes de Conductividad Térmica de Diversos Materiales"**, extraída del manual de fundamentos de ASHRAE, e impresa en el Manual de Refrigeración Copeland, Parte 3.

Los aislamientos rígidos y semirígidos son hechos de materiales tales como lámina de corcho, poliestireno o espuma de poliuretano, los cuales son fabricados en varias dimensiones y formas, tales como placas, láminas o bloques. Algunos tienen cierto grado de fuerza estructural, otros no. En esta categoría se encuentra la más alta aplicación en la refrigeración comercial. Debido a su densidad y a su composición celular, ofrecen una barrera de vapor incorporado contra la penetración de humedad.

El aislamiento en forma de espuma se usa ampliamente para llenar cavidades que son difíciles de aislar y también para cubrir recipientes donde se necesita un control efectivo de la temperatura y un sello a prueba de agua. Este tipo de aislamiento se usa junto con los aislamientos rígidos en la construcción de cuartos refrigerados debido a que tienen un factor de conductividad térmica **K** tan bajo como

**0.16 (BTU) (plg) / (hr) (pie<sup>2</sup>) (°F), según la Tabla 1 "Coeficientes de Conductividad Térmica de Diversos Materiales", del Apéndice B.**

El Manual de Refrigeración Copeland establece que algunas de las características que deben tener los aislantes de cámaras frigoríficas son:

- Baja absorción de humedad.
- Baja densidad.
- No putrefacto.
- Resistencia a la temperatura.
- Comportamiento térmico neutro.
- Fácil elaboración y aplicación.

La espuma plástica como el poliuretano expandido es, en la mayoría de los casos, el material utilizado como aislante térmico en frigoríficos por poseer las características mencionadas anteriormente a un nivel satisfactorio, resaltando su baja conductividad térmica **K** de **0.16 (BTU) (plg) / (hr) (pie<sup>2</sup>) (°F)** y excelentes características de resistencia a la humedad. Otra de las ventajas del poliuretano expandido es que una manera de utilizarlo es por medio de espuma preformada en paneles, los cuales se consiguen en diversas dimensiones.

Tomando en cuenta estas ventajas, el material aislante considerado apropiado para el cuarto de pruebas es el poliuretano expandido en paneles, de dimensiones específicas, que ensamblados o unidos unos a otros formaran las paredes y techo. Comercialmente, el espesor máximo de los paneles de poliuretano expandido para cámaras frigoríficas es de **0.1016 m. (4 plg.)**.

### **II.3 Construcción.**

**II.3.1 Preparación del piso y base de las paredes.** Previo al inicio del ensamble de los paneles y estructura del cuarto, es necesario hacer la preparación adecuada del piso. El material aislante del piso es, al igual que en los paneles, poliuretano expandido, con un espesor de 0.1016 m. (4 plg.). Al preparar el área donde el cuarto de pruebas estará ubicado, se realiza una excavación de 0.3048 m. (12 plg.) de profundidad respecto al nivel del piso, con una área de 7.0 m. x 4.3 m. (23 pies x 14 pies). En esta excavación serán aplicadas dos capas de concreto. Entre éstas, se aplica una capa de poliuretano expandido de 0.1016 m. (4 plg.) de espesor. Se debe poner atención en colocar entre el concreto y el poliuretano un plástico, con objeto de formar una barrera y prevenir que el concreto se infiltre al interior del poliuretano, lo que causaría que la función aislante del poliuretano se vea afectada.

Durante la aplicación de la segunda capa de concreto, que a su vez es la superficie del piso, se forma la base de los paneles que forman las paredes. Esta base de 7.0 m. x 4.3 m. (23 pies x 14 pies) se construye alrededor del cuarto, a excepción del claro de 1.5 m. (4.9 pies) destinado para la puerta. La función de la base es la de proveer una superficie para la colocación de la guía de los paneles. El diseño de la base se muestra en el **Plano 2 del Apéndice A.**

Adicional a la base, es también necesario formar un canal (**Ver Plano 2**). Este canal se requiere para recolectar el agua proveniente de la limpieza del cuarto, misma que será drenada por medio de dos registros, colocados cada uno en los extremos del cuarto y ubicados en el canal.

El piso y la base deben ser totalmente planos, con una tolerancia de +/- 0.003 m.

(1/8 plg.) de tránsito. Con esto se pretende garantizar que los paneles queden correctamente ensamblados, ya que de otra manera, desniveles en el piso podrían provocar que el cuarto quede descuadrado una vez construido, ocasionando posibles fracturas en los paneles por los esfuerzos generados al paso del tiempo.

**II.3.2 Estructura.** El cuarto de pruebas se forma por paneles de poliuretano expandido, revestidos de aluminio, con un espesor de 0.1016 m. (4 plg.). Para la instalación de los paneles es necesario adecuar una estructura con características tales que los soporten firmemente. El diseño de la estructura consiste en instalar el perfil con la sección transversal idónea que proporcione la resistencia más efectiva a la cizalladura y a la flexión producida por las cargas aplicadas.

Según recomendaciones de la compañía American Refrigeration, S.A., de México, quien además de proveer paneles para cámaras de refrigeración se dedica también a su instalación, la estructura a utilizar debe ser de perfiles de aluminio, material que se caracteriza por ser resistente a la corrosión. El perfil a utilizar es tipo C de 0.0254 m. x 0.0762 m. x 0.003175 m. (1 plg. x 3 plg. x 1/8 plg.). En los párrafos siguientes se describe la distribución y localización de éstos.

**II.3.2.1 Estructura de paredes laterales, trasera y delantera.** Para la colocación de los elementos estructurales que soporten las paredes del cuarto, en un extremo del perfil se solda un remate de 0.04763 m. x 0.06985 m. x 0.003175 m. (1 7/8 plg. x 2 3/4 plg. x 1/8 plg.), con un barreno de 0.015875 m. (5/8 plg.) de diámetro, con objeto de que estos elementos se fijen en sentido vertical a la base de concreto construida previamente mediante un taquete de 0.0127 m. x 0.1016 m. (1/2 plg. x 4 plg.). El diseño del elemento se muestra en el Plano 3 del Apéndice A.

La longitud de cada uno de estos elementos es de 2.00 m. (6.6 pies) y son colocados y distribuidos alrededor de todo el cuarto, tal como se muestra en los **Planos 4 y 4a del Apéndice A**. Cada uno de estos elementos se unen a los paneles que forman las paredes por medio de remaches de aluminio de 0.0047625 m. (3/16 plg.) de diámetro, por lo que se distribuyen 4 barrenos a lo largo del perfil, tal como lo indica el **Plano 3**. El otro lado del perfil también es barrenado con objeto de colocar el elemento estructural que soportará las paredes falsas del cuarto.

Otra de las funciones de estos elementos, además de reforzar las paredes del cuarto, es la de soportar el marco que sostiene al techo. Para lograr esto, se coloca un ángulo de aluminio de 0.0762 m. x 0.0762 m. x 0.003175 m. (3 plg. x 3 plg. x 1/8 plg.), con una longitud de 6.8 m. (22.3 pies) únicamente en ambas paredes laterales. Estos ángulos se colocan horizontalmente, encima de la estructura de las paredes. El marco que sostiene el techo se apoya sobre la estructura de las paredes.

**II.3.2.2 Estructura del techo.** Para la estructura del techo, se prepara un marco con un perfil de 0.0254 m. x 0.0762 m. x 0.003175 m. (1 plg. x 3 plg. x 1/8 plg.), el cual se fija al techo mediante remaches de 0.0047625 m. (3/16 plg.) de diámetro. El travesaño del marco es el elemento que se fija al techo. Para tal efecto, el travesaño cuenta con 10 barrenos de 0.0047625 m. (3/16 plg.) de diámetro, separados 0.4 m. (1.3 pies) unos a otros. Este marco se instala horizontalmente, dirigido a lo ancho del cuarto, por lo que se disponen de 5 marcos. La longitud de la viga horizontal o travesaño del marco es de 4.0 m. (13.1 pies), la cual cubre la distancia interior entre paredes laterales.

Al pie de cada lateral del marco se añade un remate de aluminio de 0.047625 m. x 0.06985 m. x 0.003175 m. (1 7/8 plg. x 2 3/4 plg. x 1/8 plg.), con un barreno de 0.009525 m. (3/8 plg.) de diámetro ubicado al centro del remate. El objeto de añadir este

remate es el de fijarlo con los elementos estructurales de las paredes laterales, sobre el ángulo de 0.0762 m. x 0.0762 m. x 0.003175 m. (3 plg. x 3 plg. x 1/8 plg.). El detalle del diseño del marco se muestra en el **Plano 5 del Apéndice A**, y la distribución de cada marco en el cuarto de pruebas se muestra en los **Planos 6 y 6a del Apéndice A**.

**II.3.2.3 Estructura de las paredes falsas.** Para reciclar el aire suministrado al interior del cuarto y mantener los niveles de temperatura deseados, es necesario hacer pasar el flujo de aire por el espacio existente entre los paneles y las paredes falsas.

La función principal de las paredes falsas es establecer un espacio de 0.1524 m. (6 plg.), el cual es formado por 2 canales de soporte de los paneles y soporte de las paredes falsas, que logre crear un tiro de aire, donde todo el flujo se concentre alrededor del cuarto y pase a través de este espacio, hacia el retorno del sistema.

La pared falsa se instala 0.1016 m. (4 plg.) arriba del piso y se extiende hasta el techo. Esta pared puede ser de tablarroca o de cualquier otro material resistente a la humedad y al calor con un espesor recomendado de 0.00635 m. (1/4 plg.).

Para su instalación, adicional a los elementos estructurales del techo y paredes, se instalan tres canales horizontales en la sección de paredes laterales, traseras y delanteras, cuya función sea soportar las paredes falsas del cuarto. Las longitudes de estos canales son:

- Longitud de los canales en paredes laterales: 6.8 m. (22.3 pies).
- Longitud de los canales en pared trasera: 4.1 m. (13.5 pies).
- Longitud de los canales en paredes delanteras: 1.3 m. (4.3 pies).

La especificación del canal de las paredes falsas es el mismo que el utilizado en los elementos estructurales de las paredes y techo. La localización de estos canales y de la pared falsa se muestra en los **Planos 7 y 7a del Apéndice A**.

**II.3.3 Falso plafón.** El cuarto es provisto de un falso plafón, con el propósito de lograr una distribución uniforme del flujo de aire proveniente del sistema de distribución del mismo al interior del cuarto.

El plafón consta de los siguientes materiales:

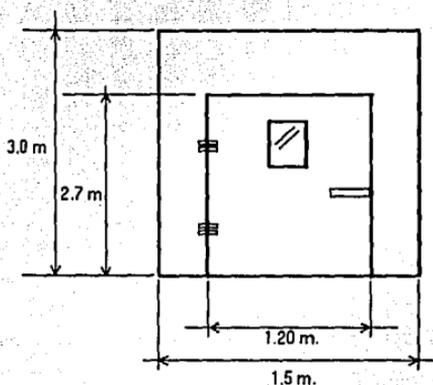
- Paneles de poliestireno de 0.015875 m. (5/8 plg.) de espesor, con dimensiones de 0.55 m. x 0.55 m.
- Paneles perforados de acero inoxidable, con un espesor de 0.0015875 m. (1/16 plg.) y con perforaciones de 0.0047625 m. (3/16 plg.) de diámetro, separadas unas de otras 0.0127 m. (1/2 plg.) (distancia de centro a centro). Las dimensiones de estos paneles son 0.55 m. x 0.55 m.
- La estructura de la suspensión del plafón es ángulo de aluminio de 0.0254 m. x 0.0254 m. (1 plg. x 1 plg.)

La altura del falso plafón respecto al piso del cuarto es de 3.0 m. (9.8 pies). El **Plano 8 del Apéndice A** muestra el arreglo del falso plafón.

**II.3.4 Instalación de la puerta.** Al final de la instalación de la estructura, paneles y falso plafón, se coloca la puerta. La puerta es compatible con el sistema de ensamble de los paneles, por lo que su instalación consiste en unirla con los mismos, sin necesidad de

colocar estructura alguna. Este tipo de puertas es especial para cámaras frigoríficas, el cual provee un cierre hermético contra penetración del aire al interior.

Las dimensiones del marco de la puerta son 3.0 m de alto x 1.5 m de ancho (9.8 pies x 4.9 pies) y de la puerta misma son 2.7 m de alto x 1.2 m de ancho (8.8 pies x 3.9 pies), tal como se indica en la Figura 2.1.



**Figura 2.1**

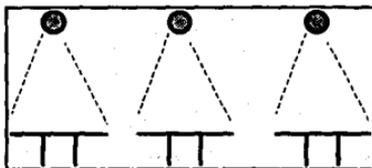
**Dimensiones del marco y de la puerta**

#### **II.4 Alumbrado interior.**

Para lograr una iluminación adecuada en el interior del cuarto, a continuación se efectúa un análisis del local a iluminar y de las tareas visuales que se van a realizar, para así determinar la selección del sistema de alumbrado y la distribución de las luminarias.

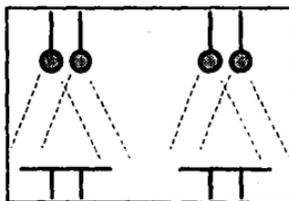
**II.4.1 Sistemas de iluminación.** Los sistemas de iluminación se pueden clasificar de la siguiente manera:

**a) Iluminación general.** Este sistema debe proporcionar la iluminación que se requiere sobre el plano horizontal con un determinado grado de uniformidad. La iluminación general se obtiene mediante la colocación regular de las luminarias en el área total del cielo o en filas continuas de luminarias que mantienen la misma separación.



**Figura 2.2**  
**Iluminación General**

**b) Iluminación localizada.** Un sistema de alumbrado localizado proporciona una iluminación no uniforme del local. En los puntos de más interés, la iluminación debe ser lo suficiente alta, mientras que en los otros sitios (zonas de circulación) la iluminación queda limitada normalmente al 50 % de la que requiere la tarea visual. El alumbrado localizado puede obtenerse concentrando luminarias en ciertas áreas.



**Figura 2.3**  
**Iluminación Localizada.**

Se recomienda iluminación localizada cuando:

- El trabajo implique exigencias visuales muy críticas, con iluminación de 1000 o más luxes.
- La visión de formas y texturas requiere que la luz provenga de una determinada dirección.
- La iluminación general no alcance a ciertas zonas debido a los obstáculos existentes.
- Se necesite mayor nivel de iluminación en beneficio de trabajadores de edad o trabajadores con comportamiento visual deficiente.

**II.4.2 Análisis de actividades.** El sistema de iluminación del cuarto debe proporcionar comodidad visual para las actividades a desarrollar, que son:

- Conexión de los termopares instalados en el gabinete en el panel al colocar el refrigerador en el lugar correspondiente en el interior del cuarto.
- El refrigerador en prueba requiere de una supervisión o chequeo que permita detectar fugas en la tubería de la unidad refrigerante.
- Las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de la instalación eléctrica, del panel de conexión de termopares, etc.
- Las operaciones de limpieza.

Como se puede observar, las actividades en el interior del cuarto no requieren un sistema de iluminación localizada. Por lo tanto, el sistema seleccionado es de tipo general.

**II.4.3 Cálculo de luminarias.** Los métodos más conocidos para efectuar los cálculos de luminarias son:

- a) El método de las cavidades zonales.
- b) El método del lumen o factor de utilización.

El método a desarrollar a continuación es el del lumen, por ser el más usual.

**Iluminación horizontal promedio.** La iluminación promedio de un local se calcula sobre un plano de trabajo, que es un plano imaginario situado a 0.75 m. sobre el suelo, para trabajos normales.

La fórmula general de cálculo es:

$$FL = E \times A / (fu \times fm) \quad (2.1)$$

donde

**FL** = Flujo luminoso total de las luminarias, en lúmenes.

**E** = Iluminación promedio horizontal, en luxes.

**A** = Área del local, en m<sup>2</sup>.

**fu** = Factor de utilización, sin unidades.

**fm** = Factor de mantenimiento (factor de pérdida de luz por diferentes conceptos: acumulación de suciedad sobre la fuente, difusores, muros y otros), sin unidades.

Como se puede observar, las actividades en el interior del cuarto no requieren un sistema de iluminación localizada. Por lo tanto, el sistema seleccionado es de tipo general.

**II.4.3 Cálculo de luminarias.** Los métodos más conocidos para efectuar los cálculos de luminarias son:

- a) El método de las cavidades zonales.
- b) El método del lumen o factor de utilización.

El método a desarrollar a continuación es el del lumen, por ser el más usual.

**Iluminación horizontal promedio.** La iluminación promedio de un local se calcula sobre un plano de trabajo, que es un plano imaginario situado a 0.75 m. sobre el suelo, para trabajos normales.

La fórmula general de cálculo es:

$$FL = E \times A / (fu \times fm) \quad (2.1)$$

donde

**FL** = Flujo luminoso total de las luminarias, en lúmenes.

**E** = Iluminación promedio horizontal, en luxes.

**A** = Área del local, en m<sup>2</sup>.

**fu** = Factor de utilización, sin unidades.

**fm** = Factor de mantenimiento (factor de pérdida de luz por diferentes conceptos: acumulación de suciedad sobre la fuente, difusores, muros y otros), sin unidades.

Los factores de utilización se ubican en una tabla especial propia de cada tipo de luminaria. Para encontrar el factor de utilización se emplea una fórmula que relaciona el área de recinto involucrado (**A**) en metros cuadrados, el largo (**l**) en metros, el ancho (**a**) en metros y la altura de montaje (**hm**) en metros, de la fuente respecto al plano de trabajo. A esta relación se le llama **Índice de Local (K)** y su fórmula es:

$$K = A / [ (l+a) hm ] \quad (2.2)$$

Una vez calculado el **Índice de Local (K)** se entra en la **Tabla 2 "Factores de Utilización"**, del **Apéndice B**, y el factor de utilización se encontrará haciendo coincidir la columna vertical correspondiente a la combinación de reflectancia del cielo (**rc**) y reflectancia de paredes (**rp**) con el valor de **K**.

El factor de mantenimiento puede oscilar de la siguiente manera:

**fm** = 0.8 - 0.7 : locales muy limpios.

0.6 - 0.5 : locales con mantenimiento regular.

0.4 - 0.3 : locales sucios.

El tipo de luminaria requerida para el cuarto de pruebas es fluorescente de 75 W, arranque instantáneo, de color blanco frío. Para este tipo de luminaria, el flujo luminoso es de 6,300 lm, según información proporcionada en el Manual de Alumbrado de Philips, 1983.

De la **Tabla 3 "Niveles de Iluminación para Diversas Tareas"**, del **Apéndice B**, extraída del Manual de Alumbrado de Philips, 1983, se selecciona el valor correspondiente de iluminación promedio horizontal para trabajos medios manuales, el cual es de 300 lux.

El factor de mantenimiento (**fm**) a utilizar en el cálculo es de **0.6** (locales con mantenimiento regular). La reflectancia del cielo (**rc**) es de **0.3**, ya que las luminarias se colocarán sobre el falso plafón, y la reflectancia de las paredes de **0.3**, por el color claro de las paredes. El cálculo del **Índice de Local (K)** se realiza aplicando la ecuación 2.2.

$$l = \text{largo interior del cuarto} = 6.8 \text{ m.}$$

$$a = \text{ancho interior del cuarto} = 4.1 \text{ m.}$$

$$hm = \text{altura de montaje} = \text{altura del falso plafón} = 3.0 \text{ m.}$$

$$K = (6.8 \text{ m} \times 4.1 \text{ m.}) / [(6.8 \text{ m} + 4.1 \text{ m}) (3.0 \text{ m})]$$

$$K = 27.88 \text{ m}^2 / (10.9 \text{ m}) (3.0 \text{ m})$$

$$K = 27.88 \text{ m}^2 / 32.7 \text{ m}^2$$

$$K = 0.8525$$

El valor de **K** se aproxima al siguiente máximo, que es **1.0**. Con este valor y con los valores estimados de reflectancia del suelo y paredes del techo se localiza el factor de utilización (**fu**) en la **Tabla 2 "Factores de Utilización"** del **Apéndice B**, extraída del **Manual de Iluminación de Philips, 1983**, el cual es de **0.31**.

El cálculo del flujo luminoso total de las luminarias (**FL**) se realiza aplicando la ecuación 2.1.

$$FL = [(300 \text{ lux}) (27.88 \text{ m}^2)] / [(0.31) (0.6)]$$

$$FL = (8364 \text{ lux} \cdot \text{m}^2) / 0.186$$

$$FL = 44,967.74 \text{ lm.}$$

Se requieren **44,967.74** lúmenes y como el flujo luminoso por cada tubo es 6,300 lm. se necesitarán:

$$44,967.74 \text{ lm.} / 6,300 \text{ lm.} = \mathbf{7.13 \text{ luminarias}}$$

Se ajusta el cálculo a un número de 6 luminarias, por facilidad de instalación de las mismas. Su localización se muestra en el **Plano 8 del Apéndice A.**

### **II.5 Suministro de energía eléctrica.**

El suministro de energía para el alumbrado interior del cuarto proviene de un sistema monofásico a 127 VAC, 60 Hz. Dentro del circuito eléctrico de las luminarias del cuarto se establece la instalación de un termostato normalmente cerrado, cuya función sea la de provocar que el circuito se abra en caso que la temperatura en el interior del cuarto alcance niveles altos debido a alguna falla inesperada del sistema de refrigeración. El **Plano 9 del Apéndice A** muestra el diagrama eléctrico de las luminarias.

### **II.6 Instalación de contactos para los refrigeradores en prueba.**

Una vez que se ha construido el cuarto, el siguiente paso es realizar la instalación de los contactos de los refrigeradores que se someterán a prueba, así como el medio de canalización de los conductores eléctricos. Diez contactos son habilitados en el interior del cuarto y son colocados sobre la pared falsa, distribuidos apropiadamente.

Debido al diseño del cuarto, los contactos y conductores deben ser alojados en algún tipo de ducto que pueda fijarse a la pared, ante la imposibilidad de realizarlo en forma oculta (enterrado en la pared). Se elige un tipo de ducto que existe en el mercado de

estructura rígida y continúa especialmente diseñado para canalizar cables eléctricos, y que gracias al diseño de su perfil, permite acoplar los contactos en cualquier punto deseado. El ducto cuenta con una tapa removible que protege a los conductores contra daños mecánicos y del medio ambiente. El uso de este tipo de ductos en la industria es cada día mayor debido a su facilidad de montaje, instalación, reparación, aumento de cables y localización de fallas, permitiendo mayor flexibilidad en la instalación, ya que en cualquier momento es posible hacer modificaciones en el diseño. Los materiales disponibles son acero galvanizado y aluminio. Para el cuarto de pruebas, se elige el aluminio por ser más ligero en relación al acero galvanizado, además de ser más resistente a la corrosión.

Debido a que la alimentación eléctrica de los refrigeradores es monofásica, y tomando en cuenta las cuestiones relacionadas con la seguridad, los contactos deben ser monofásicos con una terminal a tierra. Estos contactos son alimentados independientemente entre sí por un suministro de voltaje variado proveniente del tablero de medición y operación. El detalle de la conexión y suministro de energía para los contactos se analiza en el **Capítulo V "Tablero de Medición y Operación"**.

El **Plano 10 del Apéndice A** muestra la localización del ducto y de los contactos en el interior del cuarto de pruebas.

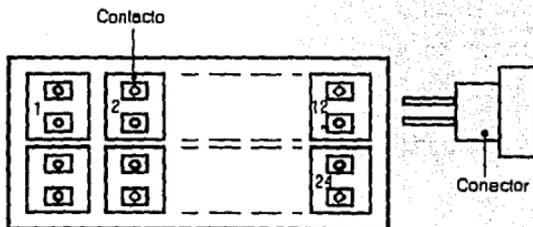
### **II.7 Paneles de conexión de termopares.**

Uno de los aspectos fundamentales en el desarrollo de las pruebas térmicas es la medición de la temperatura en el compartimiento de alimentos y en el compartimiento congelador, según lo establecido en los procedimientos de prueba de N.O.M. y A.H.A.M. El refrigerador que es sometido a prueba contiene elementos sensores, llamados termopares, en los puntos o locaciones especiales de interés para el registro de la

temperatura. De este modo, para interconectar los termopares del refrigerador con el medidor de temperatura, se ve necesario contar con un panel de conexión de termopares que logre este propósito.

Thermo Electric, industria norteamericana especializada en medición y control de temperatura, ha desarrollado paneles de conexión de termopares que permiten realizar conexiones rápidas, con materiales óptimos que eliminan interferencias con los termopares. Dentro de la variedad de paneles existentes, se elige aquel tipo que consta de 2 hileras de 12 contactos cada una, para un total de 24, tal como lo muestra la **Figura 2.4**.

El material de los conectores y contactos va de acuerdo con el tipo de calibración de termopar a usar, sea J, K, T, S, E o B, entre otros. Para aplicaciones de medición de temperaturas bajas, y según lo recomendado por **AHAM HRF - 1, 1988** en su **Inciso 7.2**, el tipo de termopar a emplear en el desarrollo de pruebas térmicas es tipo T, de cobre-constantan. Por lo tanto, los paneles de conexión de termopares para el interior del cuarto deben ser del Tipo T, de 24 puntos, cuya localización es mostrada en el **Plano 1** del **Apéndice A**.



**Figura 2.4**  
**Panel de conexión de termopares**

## CAPÍTULO III

### SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO

Para lograr obtener las temperaturas en el interior del cuarto, es necesario seleccionar un sistema que proporcione y retire calor del mismo, dependiendo del ajuste de temperatura deseada. Por lo anteriormente descrito, el sistema debe contemplar una fuente de calor o calefacción para el suministro de aire caliente al cuarto, una unidad de refrigeración para abatir la temperatura interna y un equipo de ventilación para distribuir uniformemente el aire. Aunado a esto, se debe contemplar un sistema de control que gobierne estos sistemas y permita que la temperatura se mantenga estable.

En este capítulo se describen y seleccionan tanto la fuente de calor como el sistema de enfriamiento que satisfagan las necesidades de operación, y con base en los cálculos de carga de enfriamiento y calefacción es definida la capacidad del equipo. Posteriormente, en el **Capítulo IV "Sistema de Control"** se describe el sistema de control propuesto.

#### **III.1 Calefacción.**

Para el calentamiento del espacio, se requiere el empleo de alguna forma de energía para subir la temperatura del aire. Descontando el calentamiento solar, es posible clasificar cuatro fuentes de energía como los principales medios para calefacción: carbón, aceite, gas y electricidad.

**Carbón.** El carbón es un combustible sólido que consiste de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y ceniza. Dependiendo de la proporción de cada uno, se pueden clasificar dos tipos: carbón duro y carbón suave. La antracita es un carbón denso que genera poco polvo. Es difícil de encender, pero quema uniformemente y con poco humo.

El carbón suave se clasifica como bituminoso; enciende fácilmente y quema libremente con una llama larga, produciendo mucho humo y hollín si se quema en forma inapropiada. Ambas variedades tienen un contenido de calor de aproximadamente 32,000,000 Joules / kg (14,000 BTU / lb).

Debido al avance tecnológico en lo que a medios de calefacción se refiere, el carbón ya no es una fuente importante de calefacción. Sin embargo, es aún una fuente vital de energía para las compañías generadoras de potencia eléctrica y ciertas aplicaciones eléctricas.

**Aceites.** El aceite combustible (Fuel oil industrial) es una fuente importante de energía para calefacción en aplicaciones industriales. Es una mezcla de hidrocarburos derivados del petróleo crudo obtenido a partir de un proceso de separación por medio de destilación atmosférica. Los aceites combustibles se clasifican dividiéndolos de acuerdo a sus características, principalmente viscosidad; sin embargo, otras propiedades como el punto de llama, el punto de fluencia, el contenido de agua y sedimentos, el residuo de carbón y ceniza, entre otras, son importantes en el manejo de equipo de combustión para el aceite.

Para aplicaciones de calentamiento, los tipos de aceites más importantes son aquellos que contienen de 84 % a 86 % de carbono, hasta 1 % de azufre y el resto principalmente hidrógeno. Estos aceites se usan en equipos que tienen atomización presurizada, lo cual cubre la mayoría de hornos y calderas para aire caliente forzado.

El contenido de calor es aproximadamente  $3.76 \times 10^{10}$  Joules /  $m^3$  (135,000 BTU / gal).

**Gases.** Los gases combustibles se emplean para varios procesos de calefacción y se clasifican en tres amplias categorías: natural, manufacturado y licuado de petróleo (LP). Además de la industria de la calefacción, las industrias de: generación de potencia, siderúrgica, refinerías de aceite, alimenticias, del vidrio y del cemento, son grandes usuarios de gas.

El gas natural se compone principalmente de metano, ya que este constituye del 55 % al 90 % de la mezcla. Dicha mezcla también contiene una pequeña cantidad de etano, junto con restos de propano, butano, pentano y hexano.

Al petróleo licuado, o gas licuado del petróleo (LP) se le llama con frecuencia gas embotellado. El propano y el butano son fluidos volátiles de LP que se envasan y se transportan como los refrigerantes. De hecho, el propano se usa frecuentemente como la fuente de energía o potencia para refrigeradores del tipo de absorción en vehículos de paseo.

El gas manufacturado, como su nombre lo indica, es hecho por el hombre como un subproducto de otras operaciones industriales. Por ejemplo, en la metalurgia se produce gran cantidad de gases que pueden usarse como combustibles.

El poder calorífico de un gas es la cantidad de calor liberada cuando se quema completamente un metro cúbico. El gas natural tiene un poder calorífico de aproximadamente  $37,000,000 \text{ Joules / m}^3$  ( $1,000 \text{ BTU / pie}^3$ ). El propano tiene un poder calorífico de aproximadamente  $93,000,000 \text{ Joules / m}^3$  ( $2,500 \text{ BTU / pie}^3$ ) y el butano cerca de  $119 \times 10^6 \text{ Joules / m}^3$  ( $3,200 \text{ BTU / pie}^3$ ). El aprovechamiento real depende de la eficiencia operativa del horno. Los valores exactos de poder calorífico de gases en un área en particular pueden obtenerse de la compañía de gas o del distribuidor de gas LP.

El propano es el gas L.P principalmente usado en calefacción doméstica. El butano tiene más aplicaciones agrícolas e industriales.

Los aparatos para la calefacción de aire que queman algún combustible necesitan un suministro suficiente de aire para que el combustible se quemara apropiada. La combustión tiene lugar cuando se queman combustibles en presencia del aire. En una combustión completa, el gas metano se combina con el oxígeno y el nitrógeno presentes en el aire y la reacción de combustión resultante produce calor y subproductos como bióxido de carbono, vapor de agua y nitrógeno.

Los productos de una combustión deben ser extraídos al exterior. Cuando la combustión es incompleta, se producen aldehídos y monóxido de carbono. Los aldehídos son productos tóxicos que tienen un olor agrio que irritan las membranas de la nariz y de la garganta. El monóxido de carbono es inodoro, no tiene sabor y es altamente tóxico. Sin embargo, la nariz y la garganta pueden captar las señales de que se está produciendo una combustión incompleta. La carencia de aire de renovación ocasiona una acción pobre de extracción de gases de combustión, quedándose dentro del espacio, y el monóxido de carbono en una área habitable es un serio problema.

**Energía eléctrica.** El poder calorífico de la resistencia eléctrica es fácil de calcular y recordar. Por cada kWatt-hr que se consuma,  $3.6 \times 10^6$  Joules (3,412.76 BTU) de calor serán generados. La calefacción con resistencia eléctrica es 100 % eficiente, ya que no hay pérdidas como las experimentadas en los procesos de combustión de gas y aceite.

### **III.2 Tipos de calentadores.**

**III.2.1 Calentadores de espacio de gas y aceite.** Los calentadores de espacio que

quemar gas o aceite son equipos auto-contenidos, no empotrados, que se instalan en el espacio a ser calentado y no necesitan ductos. Pueden tener circulación por gravedad o mecánica y ser o no ventilados. A causa de que los calentadores de cuarto no ventilados descargan sus productos de combustión en el espacio que está siendo calentado y obtienen su aire de combustión del mismo espacio, es importante que se utilicen en cuartos bien ventilados.

Los calentadores de pared son también aparatos auto-contenidos ventilados con rejillas o su equivalente, diseñados para incorporación dentro o permanentemente colocados a una pared o partición. Suministran aire caliente, circulado por gravedad o por ventilador, directamente al espacio. La ventilación es usualmente lograda por un sistema de ventilación integral a la pared exterior, aunque algunos tienen ventilación vertical opcional a través del techo.

El más popular sistema central de calefacción es el horno de gas con aire forzado. Estos sistemas pueden catalogarse en cuatro estilos: de flujo hacia arriba, de flujo hacia abajo, de contraflujo y de flujo horizontal.

**III.2.2 Calentadores eléctricos.** Existe una gran variedad de equipo para calentamiento eléctrico del espacio, los cuales son diseñados de acuerdo a la aplicación o a la operación. Básicamente existen calentadores radiantes y calentadores de aire forzado.

**Calentadores radiantes.** Los calentadores radiantes se presentan en varias formas. Típicamente, estos equipos se montan en una pared, empotrados o sobre la superficie. Tienen un elemento calefactor incorporado con un reflector de calor altamente pulido detrás. Un termostato controla automáticamente la temperatura. Las capacidades varían de 500 a 1,000 Watts y operan a 127 o 220 Volts. Entre estos calentadores se pueden citar

los calentadores radiantes para uso residencial, calentadores radiantes de embovedado, calentadores de radiación de panel en el techo, y lámparas calentadoras infrarrojas, entre otros.

Los calentadores tipo radiante toman ventaja del movimiento convectivo del aire que se produce cuando la temperatura del espacio sube por efecto de la radiación. No ofrecen uniformidad en la distribución de la temperatura.

**Calentadores de aire forzado.** Las unidades calentadoras con ventilador son las más funcionales en aplicaciones donde una gran capacidad, una circulación positiva de aire y un control más uniforme de la temperatura son aspectos importantes. Pueden colocarse de manera vertical u horizontal con varias opciones de control tales como un interruptor de pared, termostatos o temporizadores. Las capacidades generalmente varían de 3,000 a 3 a 12 kWatts.

Los calentadores de espacio tipo cabina se instalan en lugares en donde no se considera enfriamiento. Los elementos de calefacción son de hasta 24 kWatts y los ventiladores son usualmente de tipo centrífugo, con un gran caudal de aire y bajo ruido. La operación del damper de entrada del aire exterior puede ser manual o automática. Los sistemas de control pueden ser instalados para operar una sola o múltiples unidades, desde una estación central de control.

**III.2.3 Horno eléctrico.** El horno eléctrico típico consiste de una cabina, un compartimiento para el ventilador, filtros y una sección de resistencias de calefacción. El tamaño de la cabina es generalmente más compacto que los hornos equivalentes de gas y aceite. Ya que no hay procesos de combustión involucrados, no hay requerimientos para

ductos de gases de combustión ni de chimeneas, simplificando así los costos de instalación y construcción y haciendo más limpio el proceso.

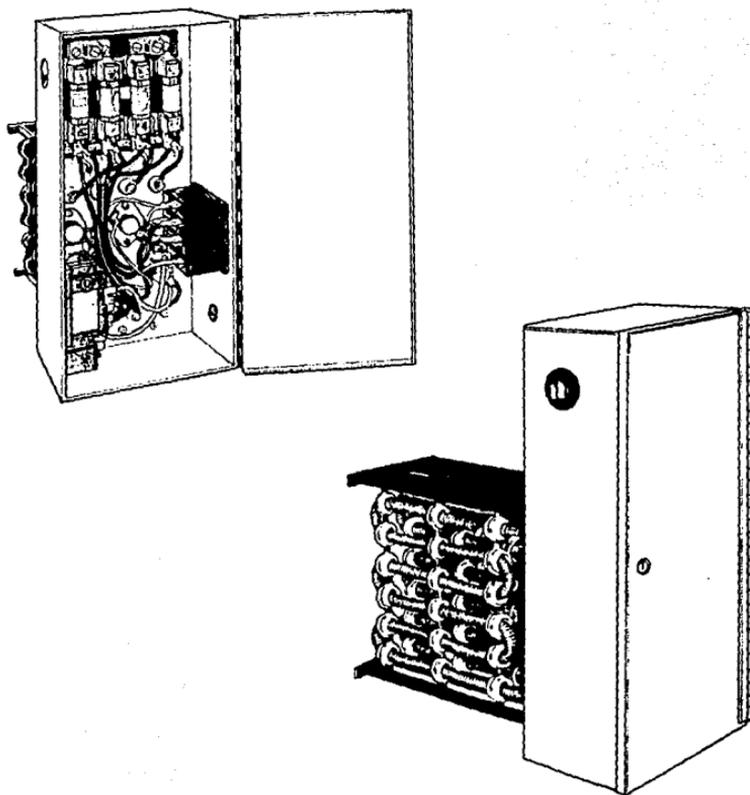
El compartimiento del ventilador usualmente tiene un ventilador centrífugo directamente acoplado a un motor de múltiple velocidad. El flujo de aire a través del horno eléctrico tiene menos resistencia y el compartimiento del ventilador es más eficiente.

La sección de calefacción consiste en bancos de resistencia hechos de alambre de cromo - níquel mantenidos en su lugar por espaciadores de cerámica. Estos elementos de calefacción son protegidos contra cualquier sobrecalentamiento que pueda ser causada por falla del ventilador o bloqueo del filtro mediante interruptores de límite que miden la temperatura del aire y cuando se sobrecalientan abren el circuito eléctrico. Algunos hornos también emplean fusibles en serie con el calentador.

Una versión del horno eléctrico es el uso de una unidad manejadora de aire con calentadores eléctricos del ducto, los cuales no son incluidos en el paquete. Esta unidad consiste de un ventilador contenido en una cabina aislada, con aperturas para conexiones de los ductos de retorno y descarga. Los calentadores de resistencia eléctrica se instalan en el ducto de descarga principal o los ductos secundarios que van a los espacios a calentar y se fabrican para que se acoplen a los tamaños de ductos estándar. Pueden intercomunicarse para encenderse con el ventilador del horno y son controlados por un termostato de ambiente o por cualquier otro elemento de control.

**La Figura 3.1 muestra las resistencias eléctricas para ducto.**

Las unidades manejadoras de aire con calentadores de ducto ofrecen la ventaja del movimiento mecánico del aire en donde no es únicamente calentado y limpiado por



**Figura 3.1**  
**Resistencias eléctricas para ducto.**

filtración, sino que también es refrescado con una toma de aire exterior o con el mismo aire reciclado, el cual es introducido al área nuevamente. Este sistema presenta limitaciones, ya que únicamente proporciona calefacción, haciendo necesario instalar una unidad de enfriamiento por separado.

No obstante, para adaptarse a las muchas variaciones de la técnica de la construcción y para aprovechar los sistemas de ductos, la industria ha desarrollado el comúnmente llamado sistema dividido, el cual consiste de una manejadora de aire que contiene una sección enfriadora interior (evaporador) y de una unidad condensadora exterior, ambas interconectadas por líneas donde fluye refrigerante. La manejadora de aire tiene una sección de descarga y otra sección de retorno de aire. La calefacción se logra gracias a las resistencias eléctricas existentes, las cuales se instalan dentro del ducto de descarga. El enfriamiento a su vez se logra haciendo circular el aire de retorno a través del evaporador. Cualquiera de estos dos factores convierte la unidad para calefacción en un sistema de calefacción y enfriamiento, mediante el empleo de elementos de control apropiados. Modelos verticales para descargar hacia arriba o hacia abajo están disponibles en el mercado.

El evaporador está aislado para evitar que exista condensación externa, y todos los modelos tienen bandejas de condensado adecuadas para recolectar agua. Una manguera plástica de bajo costo puede ser usada para llevar el condensado hasta el desagüe o tubería de drenaje más próxima.

Normalmente, el ventilador de la manejadora es de tipo centrífugo, y es accionado mediante un motor eléctrico. En la unidad, el aire de retorno llega hasta la unidad a través de los filtros y del serpentín de enfriamiento, forzado por el ventilador. Este aire es luego

llevado a través del elemento de calefacción para ser entonces descargado por los ductos de suministro hasta el espacio acondicionado.

En la sección de retorno y antes del evaporador se coloca un damper que permite que todo el aire circulado pase por el evaporador y filtros cuando se desea enfriar el espacio, o que el aire sea desviado para que sea llevado directamente a las resistencias eléctricas para suministrar calor al espacio interior. Este damper es operado a través de un actuador.

### **III.3 Selección del sistema.**

Con base en el análisis de las características de los sistemas mencionados de calentadores, se opta por elegir el equipo o sistema que más se adapte a las necesidades de operación del cuarto de pruebas.

Por facilidad de instalación y operación se elige el calentamiento a base de resistencias eléctricas y aire forzado, mediante la versión del horno eléctrico llamado sistema dividido de aire acondicionado, aprovechando que este contiene también los elementos necesarios para enfriar el espacio. La selección del tipo de calefacción se basa también en que los sistemas de calefacción de gas y aceite usan en su proceso la combustión de derivados del petróleo, energético cada días más escaso y más caro en su proceso. Además, estos sistemas generan monóxido de carbono, compuesto tóxico que afecta al ser humano e incrementa la contaminación por la extracción de los gases de combustión.

Se selecciona una manejadora de aire de descarga vertical hacia arriba. Esta unidad es conectada por medio de ductos al cuarto de pruebas las cuales permitirán suministrar y

retirar el aire del interior por medio de las secciones de descarga y retorno.

Para la calefacción, se suministra un calentador de ducto, dado a que estos tipos de sistemas se acoplan al tamaño del ducto de descarga. El calentador de ducto consiste en bancos de resistencias eléctricas hechas de alambre de cromo - níquel.

El sistema de enfriamiento consiste de un evaporador instalado en el retorno de aire de la manejadora y conectado a una unidad condensadora remota por medio de líneas de refrigerante. El serpentín de enfriamiento o evaporador es de flujo horizontal. Inmediatamente antes del serpentín de enfriamiento, se adapta un damper, que accionado por un actuador electrónico, dirigirá el flujo de aire de retorno a través del serpentín de enfriamiento.

El funcionamiento general del sistema, considerando todo el equipo integrado es como sigue: en la unidad manejadora de aire, el aire de retorno llega hasta la unidad forzado por el ventilador a través del ducto de retorno. El damper permite que todo el aire de retorno pase por el evaporador y sea llevado directamente al ducto de descarga cuando se desee enfriar el cuarto. En este proceso, gracias a los controles de temperatura, las resistencias permanecen apagadas. Cuando se requiere suministrar calefacción, el aire de retorno no pasa por el evaporador. El damper cierra completamente el flujo de aire al evaporador haciendo que pase por las resistencias instaladas en el ducto de descarga. Durante este proceso, las resistencias están en funcionamiento hasta que el interior del cuarto alcance la temperatura deseada.

El detalle de las características de los equipos del sistema mencionado se establecerá posteriormente en este capítulo.

#### **III.4 Determinación de la carga de refrigeración y calefacción.**

Hasta ahora se han analizado los diferentes tipos de sistemas de calefacción y enfriamiento, se ha elegido el tipo de equipo y se ha descrito su funcionamiento. El siguiente paso es determinar su capacidad realizando los cálculos correspondientes.

Para poder hacer un buen cálculo de las cargas de calor y enfriamiento, se realiza una investigación cuidadosa de los componentes de la carga del espacio que se va a acondicionar. Los siguientes son los factores que afectan la ganancia y la pérdida de calor en el espacio dado:

- Los materiales de construcción.
- Las dimensiones físicas.
- La cantidad de personas.
- La iluminación.
- Los equipos.
- La infiltración de aire
- Las condiciones exteriores de diseño.
- Las condiciones interiores de diseño.

Antes de iniciar con los cálculos, se definen a continuación los factores que afectan la ganancia y pérdida de calor, a fin de comprender el procedimiento de cálculo a seguir.

**Nota:** Debido a que los valores tomados de las tablas están expresados en unidades del Sistema Ingles, los cálculos a desarrollar estarán expresados en este sistema. Los resultados finales se expresarán en Sistema Ingles y seguido sus equivalencias expresadas en Sistema Internacional, entre paréntesis.

**1. Transmisión de calor a través de los materiales de construcción.** La transmisión de calor a través de los materiales de construcción varía con el tipo de construcción, el área expuesta a diferentes temperaturas, el tipo y espesor del aislamiento, así como la diferencia de temperatura entre el espacio refrigerado y el medio ambiente.

El cálculo de la transmisión de calor a través de los materiales de construcción se lleva a cabo con la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{transmisión de calor}} = (K \times A \times Dt) / E \quad (3.1)$$

donde:

$Q_{\text{transmisión de calor}}$  = Transmisión de calor a través de una superficie, en BTU / hr.

$K$  = Coeficiente de conductividad térmica, en [(BTU) (pie) / (hr) (pie<sup>2</sup>) (°F)].

$A$  = El área del componente de construcción que queda expuesto a las temperaturas interior y exterior, en pie<sup>2</sup>.

$Dt$  = Diferencia en temperatura entre el interior y exterior, en °F.

$E$  = Espesor del material, en pulgadas.

**2. Cantidad de Personas.** Las personas que ocupan el espacio que debe ser enfriado contribuyen con cantidades importantes de calor sensible y latente, que aumentan la carga total de enfriamiento de dicho espacio.

El cálculo de la carga debida a las personas se basa en el número promedio de éstas dentro del espacio durante el periodo de la máxima carga de enfriamiento de diseño. La cantidad de calor debida a las personas que va a aumentar la carga total de enfriamiento

está de acuerdo con la actividad desarrollada por esas personas, como lo indicado en la Tabla 4 "Ganancia de Calor por Personas", del Apéndice B, extraída del Manual de Fundamentos de ASHRAE, Capítulo 22. Por lo tanto, la carga de calor debido al número de personas se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{personas}} = \text{No. de personas} \times \text{Ganancia de calor por personas (BTU / hr)} \quad (3.2)$$

**3. Iluminación eléctrica.** Toda energía eléctrica disipada directamente en el espacio, como luces, calefactores, etc., se convierte en calor y debe incluirse en la carga térmica. Un kWatt - hora es igual a 3,412.76 BTU ( $3.6 \times 10^6$  Joules), y esta relación de conversión es correcta para cualquier cantidad de energía eléctrica. La carga de calor por iluminación eléctrica por hora se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{iluminación}} = \text{Potencia (kWatts)} \times \text{No. de lamp.} \times 1 \text{ hr.} \times 3,412.76 \text{ BTU} \quad (3.3)$$

**4. Equipo.** En el caso de aparatos electrodomésticos (en este caso refrigeradores), el consumo de energía, expresado en kWatts - horas, dará la información necesaria para obtener un dato aproximado del calor generado por el aparato. La carga de calor por el equipo por hora se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{equipo}} = \text{Consumo de energía (kWatts-hr)} \times \text{No. de equipos} \times 1 \text{ hr.} \times 3,412.76 \text{ BTU} \quad (3.4)$$

**5. Infiltración de aire.** Cualquier cantidad de aire que penetre en el espacio refrigerado debe reducir su temperatura a la de almacenamiento, aumentando de este modo la carga de refrigeración. Debido a la variedad de factores, resulta difícil calcular con exactitud la ganancia de calor adicional debido a la infiltración de aire. Sin embargo, se

han desarrollado métodos basados en la experiencia para determinar esta carga de refrigeración, como el método de estimación por cambio de aire, el cual establece que la entrada y salida de personas al espacio acondicionado, normalmente varía con la cantidad o volumen. Por consiguiente, el número de veces que las puertas se abren dependerá del volumen y no del número de puertas.

La **Tabla 5 del Apéndice B**, extraída del Manual de Refrigeración de Copeland, Sección 3, indica el promedio de cambios de aire en 24 horas debido a la apertura de las puertas e infiltración.

Una vez determinada la cantidad de infiltración, la carga de calor por infiltración puede calcularse a partir del calor removido por pie cúbico según los valores dados en la **Tabla 6 "Calor Removido en Aire de Enfriamiento a las Condiciones de Cámaras de Enfriamiento"**, del Apéndice B, extraída del Manual de Refrigeración de Copeland, Sección 3, aplicando la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{infiltración de aire}} = \text{Vol.} \times \text{Cambios de Aire} \times \text{Calor Removido (BTU / pie}^3\text{)} \quad (3.5)$$

**6. Condición externa de diseño.** La condición externa de diseño es la temperatura del ambiente exterior que rodea al espacio refrigerado o al que se le suministra calefacción.

**7. Condición interna de diseño.** La condición interna de diseño se puede definir como la temperatura deseada dentro del cuarto.

**8. Diferencia de temperatura de diseño.** La pérdida de calor en la estructura depende de la diferencia entre la temperatura interior y exterior de diseño.

### III.4.1 Consideraciones y detalles de construcción.

1. El cuarto es localizado en el interior de un edificio ubicado en la Ciudad de México.

2. Las dimensiones físicas del cuarto son:

Paredes laterales (Derecha e izquierda) = 23 pies x 13 pies (7.0 m. x 4.0 m.).

Paredes frontal y trasera = 13 pies x 14 pies (4.0 m. x 4.3 m.).

Techo = 23 pies x 14 pies (7.0 m. x 4.3 m.).

Piso = 23 pies x 14 pies (7.0 m x 4.3 m.).

3. Las paredes y techo del cuarto están formados por paneles de 4 plg. (0.1016 m.) de espesor, utilizando como aislante espuma de poliuretano expandido. El piso utiliza 4 plg. (0.1016 m.) de espuma de poliuretano expandido, al igual que las paredes y techo. El material aislante de la puerta es también espuma de poliuretano expandido.

4. Iluminación mediante 6 lámparas fluorescentes de 75 Watts cada una.

5. Ocho refrigeradores en el interior del cuarto, tomando en consideración que los ocho refrigeradores son de una capacidad de 24 pies<sup>3</sup> (0.67968 m<sup>3</sup>.), con un consumo de energía promedio de 2.5 kWatts-hora, según la información proporcionada por Organización Mabe.

6. **Concentración de personas.** Como se mencionó en el **Capítulo II "Construcción del Cuarto"**, las actividades principales a desarrollar en el interior del cuarto son la conexión de termopares y las actividades de supervisión. Estas actividades se

consideran de trabajo pesado. La carga de trabajo se distribuye en dos refrigeradores por persona, por lo que la concentración se estima de 4 personas.

**7. Temperatura interior de diseño.** En la introducción del presente documento se estableció que las pruebas deben ser realizadas en ambientes controlados de 70 °F (21 °C), 90 °F (32 °C) y 110 °F (43 °C). Por lo tanto, las temperaturas mínimas y máximas interiores de diseño son:

**Mínima: 60 °F (15.6 °C) / Máxima: 120°F (48.9 °C).**

**8.** La temperatura exterior de diseño es 80 °F (26.7 °C), según la información proporcionada por el Observatorio de la Ciudad de México.

### **III.4.2 Cálculo de la carga de refrigeración.**

**Transmisión de calor a través de los materiales.** Para el cálculo de la ganancia por transmisión de calor a través de los materiales de construcción se aplica la ecuación 3.1.

El Coeficiente de Conductividad Térmica K para el poliuretano expandido es de 0.16 [(BTU) (plg) / (hr) (pie<sup>2</sup>) (°F)] según la **Tabla 1 del Apéndice B.**

$$\begin{aligned} \text{Área de la pared lateral derecha} &= 23 \text{ pies} \times 13 \text{ pies} &= 299 \text{ pie}^2 \\ & (7.0 \text{ m.} \times 4.0 \text{ m.}) &= (28.0 \text{ m}^2) \\ \text{Área de la pared lateral izquierda} &= 23 \text{ pies} \times 13 \text{ pies} &= 299 \text{ pie}^2 \\ & (7.0 \text{ m.} \times 4.0 \text{ m.}) &= (28.0 \text{ m}^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Área de la pared trasera} &= 13 \text{ pies} \times 14 \text{ pies} = 182 \text{ pie}^2 \\ & (4.0 \text{ m.} \times 4.3 \text{ m.}) = (17.2 \text{ m}^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Área de la pared frontal} &= 13 \text{ pies} \times 14 \text{ pies} = 182 \text{ pie}^2 \\ & (4.0 \text{ m.} \times 4.3 \text{ m.}) = (17.2 \text{ m}^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Área del techo} &= 23 \text{ pies} \times 14 \text{ pies} = 322 \text{ pie}^2 \\ & (7.0 \text{ m.} \times 4.3 \text{ m.}) = (30.1 \text{ m}^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Área del piso} &= 23 \text{ pies} \times 14 \text{ pies} = 322 \text{ pie}^2 \\ & (7.0 \text{ m.} \times 4.3 \text{ m.}) = (30.1 \text{ m}^2) \end{aligned}$$

La diferencia de temperatura se determina utilizando el siguiente criterio:

Diferencia de temperatura = Temperatura exterior - Temperatura interior.

Diferencia de temperatura = 80 °F - 60 °F (26.7 °C - 15.6 °C)

**Diferencia de temperatura = 20 °F (11.1 °C)**

Cálculo de la ganancia por transmisión de calor a través de los materiales de construcción por cada una de las superficies expuestas del cuarto de pruebas.

**Q<sub>transmisión de calor</sub> = (Pared lateral derecha)**

$$Q_{\text{transmisión de calor}} = [0.16 \text{ (BTU)(plg)/(hr)(pie}^2\text{)(°F)}] \times 299 \text{ pie}^2 \times 20 \text{ °F} / 4 \text{ plg.}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor (Pared lateral derecha)}} = 239.20 \text{ BTU / hr (70.10 Watts).}$$

**Q<sub>transmisión de calor</sub> (Pared lateral izquierda).**

$$Q_{\text{transmisión de calor}} = [0.16 \text{ (BTU)(plg)/(hr)(pie}^2\text{)(°F)}] \times 299 \text{ pie}^2 \times 20 \text{ °F} / 4 \text{ plg.}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor (Pared lateral izquierda)}} = 239.20 \text{ BTU / hr (70.10 Watts).}$$

**Q<sub>transmisión de calor</sub> (Pared trasera)**

$$Q_{\text{transmisión de calor}} = [0.16 \text{ (BTU)(plg)/(hr)(pie}^2\text{)(°F)}] \times 182 \text{ pie}^2 \times 20 \text{ °F} / 4 \text{ plg.}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor (Pared trasera)}} = 145.60 \text{ BTU / hr (42.67 Watts).}$$

**$Q_{\text{transmisión de calor (Pared delantera)}}$**

$$Q_{\text{transmisión de calor}} = [0.16 \text{ (BTU)}(\text{plg})/(\text{hr})(\text{pie}^2)(^{\circ}\text{F})] \times 182 \text{ pie}^2 \times 20 ^{\circ}\text{F} / 4 \text{ plg.}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor (Pared delantera)}} = 145.60 \text{ BTU / hr (42.67 Watts).}$$

**$Q_{\text{transmisión de calor (Techo)}}$**

$$Q_{\text{transmisión de calor}} = [0.16 \text{ (BTU)}(\text{plg})/(\text{hr})(\text{pie}^2)(^{\circ}\text{F})] \times 322 \text{ pie}^2 \times 20 ^{\circ}\text{F} / 4 \text{ plg.}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor (Techo)}} = 257.60 \text{ BTU / hr (75.50 Watts).}$$

**$Q_{\text{transmisión de calor (Piso)}}$**

$$Q_{\text{transmisión de calor}} = [0.16 \text{ (BTU)}(\text{plg})/(\text{hr})(\text{pie}^2)(^{\circ}\text{F})] \times 322 \text{ pie}^2 \times 20 ^{\circ}\text{F} / 4 \text{ plg.}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor (Piso)}} = 257.60 \text{ BTU / hr (75.50 Watts).}$$

La carga total de transmisión de calor a través de los materiales de construcción es la suma de la carga de transmisión de calor en cada una de las superficies expuestas.

$$Q_{\text{transmisión de calor (Pared lateral derecha)}} = 239.20 \text{ BTU / hr (70.10 Watts)}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor (Pared lateral izquierda)}} = 239.20 \text{ BTU / hr (70.10 Watts)}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor (Pared trasera)}} = 145.60 \text{ BTU / hr (42.67 Watts)}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor (Pared delantera)}} = 145.60 \text{ BTU / hr (42.67 Watts)}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor (Piso)}} = 257.60 \text{ BTU / hr (75.50 Watts)}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor (Techo)}} = 257.60 \text{ BTU / hr (75.50 Watts)}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor}} = 1,284.80 \text{ BTU / hr (376.54 Watts)}$$

**Ganancia de calor por personas.** Asumiendo que 4 personas en el interior del cuarto desarrollan un trabajo moderadamente pesado, el calor total disipado es de 1,000 BTU / hr (293.05 Watts), según **Tabla 4 del Apéndice B**, por lo que la ganancia de calor por personas se determina aplicando la ecuación 3.2.

$$Q_{\text{personas}} = 4 \text{ personas} \times 1,000 \text{ BTU/hr}$$

$$Q_{\text{personas}} = 4,000 \text{ BTU / hr (1,172.22 Watts).}$$

**Carga por iluminación.** La carga por iluminación se obtiene tomando en cuenta que 1 kWatt-hora equivale a 3,412.76 BTU ( $3.6 \times 10^6$  Joules), la carga de iluminación por hora es calculada utilizando la ecuación 3.3.

$$Q_{\text{iluminación}} = 0.075 \text{ kWatts} \times 6 \text{ Lámparas} \times 1 \text{ hora} \times 3,412.76 \text{ BTU}$$

$$Q_{\text{iluminación}} = 1,535.74 \text{ BTU / hr (450.06 Watts)}$$

**Ganancia de calor por el equipo funcionando en el interior.** En este caso se calcula el calor generado de acuerdo con el consumo de energía que gasta cada refrigerador, que según la información proporcionada por Organización Mabe, el promedio de consumo de energía por refrigerador es de 2.5 kWatt-hora. Aplicando la ecuación 3.4 se tiene, para un periodo de 1 hora:

$$Q_{\text{equipo}} = 2.5 \text{ kWatt-hora} \times 8 \text{ refrigeradores} \times 1 \text{ hora} \times 3,412.76 \text{ BTU}$$

$$Q_{\text{equipo}} = 68,255.2 \text{ BTU/hr (20,002.57 Watts).}$$

**Infiltración de aire.** Para calcular la carga de calor por infiltración de aire se utiliza el método de estimación por cambio de aire.

$$\text{Volumen del cuarto} = 23 \text{ pies} \times 14 \text{ pies} \times 13 \text{ pies (7.0 m} \times 4.3 \text{ m} \times 4.0 \text{ m)}$$

$$\text{Volumen del cuarto} = 4,186 \text{ pies}^3 \text{ (120.4 m}^3\text{).}$$

Con el valor del volumen del cuarto se entra a la **Tabla 5 "Promedio de Cambios de Aire en 24 horas para Cámaras de Almacenaje Debido a la Apertura de Puertas e**

**Infiltración", del Apéndice B, para calcular los cambios de aire en 24 horas. Debido a que la temperatura interior de diseño es de 60 °F (15.6 °C), se hace cruzar la línea correspondiente al volumen del cuarto con la columna para temperaturas arriba de 32 °F (0 °C). De este modo, se obtiene un valor de 8.2 cambios de aire en 24 horas, entrando a la tabla con un valor de 4,000 pie<sup>3</sup>.**

**El calor removido en 24 horas se obtiene de la **Tabla 6 "Calor Removido en Aire de Enfriamiento a las Condiciones de Cámaras de Almacenamiento", del Apéndice B. Con una temperatura exterior de diseño de 80 °F (26.7 °C) y una temperatura interna de diseño de 60 °F (15.6 °C) , se entra a la tabla, obteniéndose un valor de calor removido de 0.66 BTU / pie<sup>3</sup>. Aplicando la ecuación 3.5 se tiene:****

$$Q_{\text{infiltración de aire}} = 4,186 \text{ pie}^3 \times 8.2 \text{ Cambios/ 24 horas} \times 0.66 \text{ BTU/pie}^3.$$

$$Q_{\text{infiltración de aire}} = 22,654.63 \text{ BTU en 24 horas}$$

$$= 943.94 \text{ BTU/hr (276.63 Watts)}$$

**Cálculo de la carga de refrigeración. La carga total de refrigeración se obtiene sumando la ganancia de calor calculada para cada factor.**

$$Q_{\text{transmisión de calor}} \quad 1,284.80 \text{ BTU / hr (376.54 Watts).}$$

$$Q_{\text{personas}} \quad 4,000 \text{ BTU / hr (1,172.22 Watts).}$$

$$Q_{\text{iluminación}} \quad 1,535.74 \text{ BTU / hr (450 Watts).}$$

$$Q_{\text{equipo}} \quad 68,255.2 \text{ BTU / hr (20,002.57 Watts).}$$

$$Q_{\text{infiltración de aire}} \quad 943.94 \text{ BTU / hr (276.63 Watts).}$$

$$\text{Carga total de refrigeración} \quad 76,019.68 \text{ BTU / hr (22,278.02 Watts).}$$

**III.4.3 Cálculo de la carga de calefacción. La carga de calefacción se basa en el cálculo de la pérdida de calor a través de paredes, piso y techo del cuarto, con una**

temperatura de diseño exterior de 80 °F (26.7 °C) y una temperatura de diseño interior de 120 °F (48.9 °C). Para el cálculo de la pérdida de calor se aplica la ecuación 3.1.

El Coeficiente de Conductividad Térmica K para el poliuretano expandido es de 0.16 [(BTU) (plg) / (hr) (pie<sup>2</sup>) (°F)] según la Tabla I del Apéndice B.

Área de la pared lateral derecha =	23 pies x 13 pies =	299 pie <sup>2</sup>
	(7.0 m. x 4.0 m.) =	(28.0 m <sup>2</sup> )
Área de la pared lateral izquierda =	23 pies x 13 pies =	299 pie <sup>2</sup>
	(7.0 m. x 4.0 m.) =	(28.0 m <sup>2</sup> )
Área de la pared trasera =	13 pies x 14 pies =	182 pie <sup>2</sup>
	(4.0 m. x 4.3 m.) =	(17.2 m <sup>2</sup> )
Área de la pared frontal =	13 pies x 14 pies =	182 pie <sup>2</sup>
	(4.0 m. x 4.3 m.) =	(17.2 m <sup>2</sup> )
Área del techo =	23 pies x 14 pies =	322 pie <sup>2</sup>
	(7.0 m. x 4.3 m.) =	(30.1 m <sup>2</sup> )
Área del piso =	23 pies x 14 pies =	322 pie <sup>2</sup>
	(7.0 m. x 4.3 m.) =	(30.1 m <sup>2</sup> )

La diferencia de temperatura se determina utilizando el siguiente criterio:

Diferencia de temperatura = Temperatura exterior - Temperatura interior.

Diferencia de temperatura = 80 °F - 120 °F (26.7 °C - 48.9 °C)

Diferencia de temperatura = - 40 °F (- 22.2 °C).

Cálculo de la pérdida de calor a través de los materiales de construcción por cada una de las superficies expuestas del cuarto de pruebas.

**$Q_{\text{transmisión de calor}}$  = (Pared lateral derecha)**

$$Q_{\text{transmisión de calor}} = [0.16 \text{ (BTU)}(\text{plg})/(\text{hr})(\text{pie}^2)(^{\circ}\text{F})] \times 299 \text{ pie}^2 \times 40 \text{ }^{\circ}\text{F} / 4 \text{ plg.}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor}} \text{ (Pared lateral derecha)} = 478.40 \text{ BTU/hr (140.20 Watts).}$$

**$Q_{\text{transmisión de calor}}$  (Pared lateral izquierda).**

$$Q_{\text{transmisión de calor}} = [0.16 \text{ (BTU)}(\text{plg})/(\text{hr})(\text{pie}^2)(^{\circ}\text{F})] \times 299 \text{ pie}^2 \times 40 \text{ }^{\circ}\text{F} / 4 \text{ plg.}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor}} \text{ (Pared lateral izquierda)} = 478.40 \text{ BTU/hr (140.20 Watts).}$$

**$Q_{\text{transmisión de calor}}$  (Pared trasera)**

$$Q_{\text{transmisión de calor}} = [0.16 \text{ (BTU)}(\text{plg})/(\text{hr})(\text{pie}^2)(^{\circ}\text{F})] \times 182 \text{ pie}^2 \times 40 \text{ }^{\circ}\text{F} / 4 \text{ plg.}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor}} \text{ (Pared trasera)} = 291.20 \text{ BTU / hr (85.34 Watts).}$$

**$Q_{\text{transmisión de calor}}$  (Pared delantera)**

$$Q_{\text{transmisión de calor}} = [0.16 \text{ (BTU)}(\text{plg})/(\text{hr})(\text{pie}^2)(^{\circ}\text{F})] \times 182 \text{ pie}^2 \times 40 \text{ }^{\circ}\text{F} / 4 \text{ plg.}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor}} \text{ (Pared delantera)} = 291.20 \text{ BTU / hr (85.34 Watts).}$$

**$Q_{\text{transmisión de calor}}$  (Techo)**

$$Q_{\text{transmisión de calor}} = [0.16 \text{ (BTU)}(\text{plg})/(\text{hr})(\text{pie}^2)(^{\circ}\text{F})] \times 322 \text{ pie}^2 \times 40 \text{ }^{\circ}\text{F} / 4 \text{ plg.}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor}} \text{ (Techo)} = 515.20 \text{ BTU / hr (150.98 Watts).}$$

**$Q_{\text{transmisión de calor}}$  (Piso)**

$$Q_{\text{transmisión de calor}} = [0.16 \text{ (BTU)}(\text{plg})/(\text{hr})(\text{pie}^2)(^{\circ}\text{F})] \times 322 \text{ pie}^2 \times 40 \text{ }^{\circ}\text{F} / 4 \text{ plg.}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor}} \text{ (Piso)} = 515.20 \text{ BTU / hr (150.98 Watts).}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor (Pared lateral derecha)}} = 478.40 \text{ BTU / hr (140.20 Watts)}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor (Pared lateral izquierda)}} = 478.40 \text{ BTU / hr (140.20 Watts)}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor (Pared trasera)}} = 291.20 \text{ BTU / hr (85.34 Watts)}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor (Pared delantera)}} = 291.20 \text{ BTU / hr (85.34 Watts)}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor (Techo)}} = 515.20 \text{ BTU / hr (150.98 Watts)}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor (Piso)}} = 515.20 \text{ BTU / hr (150.98 Watts)}$$

$$Q_{\text{transmisión de calor}} = 2,569.60 \text{ BTU / hr} \\ (753.04 \text{ Watts})$$

La pérdida total por transmisión de calor a través de los materiales de construcción es la suma de la pérdida por transmisión de calor en cada una de las superficies expuestas, por lo que, el equipo de calefacción que cubra la pérdida de calor debe tener una capacidad de 2,569.60 BTU / hr (753.04 Watts).

### **III.5 Condiciones de operación del sistema.**

Una vez calculada la carga de refrigeración, es necesario establecer las condiciones a las que opera el sistema para así determinarlo. Estas condiciones son la temperatura de evaporación y la temperatura de condensación.

**III.5.1 Temperatura de evaporación.** La humedad relativa en un espacio refrigerado es afectada por distintas variables tales como el tiempo de funcionamiento del sistema, la recirculación del aire, la infiltración de humedad, las condiciones atmosféricas externas y el tipo de control del sistema.

Normalmente, puede lograrse un control satisfactorio de la humedad relativa seleccionando el evaporador para la diferencia de temperatura (D.T.) adecuada; entendiéndose por D.T. a la diferencia entre la temperatura del espacio refrigerado y la temperatura de evaporación del refrigerante.

A pesar de que los métodos de prueba de N.O.M. y A.H.A.M. no exigen tener un nivel de humedad relativa en el ambiente durante las pruebas, con fines de ensayo académico se determina un porcentaje de humedad relativa de 50 %, a 60 °F (15.6 °C). Para este valor de humedad relativa, el D.T. recomendable es de 16 °F hasta 22 °F (8.9 °C a 12.22 °C), según las recomendaciones publicadas en el Manual de Refrigeración de Copeland, Parte 3, Sección 16. Con fines económicos, la diferencia de temperatura debe mantenerse tan baja como sea posible, por lo que se elige un D.T. igual a 16 °F (8.9 °C).

Con respecto a la temperatura en el espacio refrigerado, se asigna la correspondiente a 60 °F (15.6 °C), diseñándose de esta manera el sistema para la mínima temperatura que puede requerirse. Así, con estos datos propuestos se calcula la temperatura de evaporación, que es una de las dos condiciones de operación:

**Temperatura de evaporación = Temperatura del espacio refrigerado - D.T.**

**Temperatura de evaporación = 60 °F - 16 °F (15.6 °C - 8.9 °C)**

**Temperatura de evaporación = 44 °F (6.7 °C)**

**III.5.2 Temperatura de condensación.** Es la temperatura a la que el refrigerante se condensa para convertirse en líquido refrigerante. No debe confundirse esta temperatura con la temperatura del medio de enfriamiento, puesto que la temperatura de condensación es siempre superior para que se realice la adecuada transferencia de calor.

La diferencia de temperatura (D.T.) de condensación varía entre los 18 °F (10 °C) y los 30 °F (16.7 °C), utilizándose normalmente la diferencia de temperatura menor para temperaturas ambiente altas y la diferencia de temperatura mayor para temperaturas ambiente bajas. De esta manera, se elige un D.T. de 18 °F (10 °C), por someterse el sistema a una temperatura ambiente externa alta de 80 °F (26.7 °C). Así, con estos datos es calculada la temperatura de condensación

**Temperatura de condensación = Temperatura ambiente + D.T. condensación**

**Temperatura de condensación = 80 °F + 18 °F (26.7 °C + 10 °C)**

**Temperatura de condensación = 98 °F (36.7 °C).**

**III.5.3 Selección del refrigerante.** La eficiencia y la economía de operación no son usualmente factores de decisión en la selección del refrigerante. Son más importantes aquellas propiedades que tienden a reducir la dimensión, peso y costo inicial del equipo de refrigeración, así como aquellas que permiten la operación automática y un mínimo mantenimiento. El costo y la disponibilidad del refrigerante también son importantes consideraciones en la selección del mismo.

Siguiendo el criterio de la confiabilidad de operación para el diseño del equipo, debe considerarse la lubricación del compresor. Como consecuencia de esta lubricación, se presenta en el sistema de refrigeración una relación refrigerante - aceite, descrita a continuación: puesto que el compresor debe lubricarse, el flujo de aceite en el sistema de refrigeración es considerado desde el punto inicial. El vapor se pone en contacto directo con el aceite y se adhiere a las paredes del cilindro cuando los pistones son lubricados. Una cantidad de este aceite se va con el vapor refrigerante cuando pasa a la línea de descarga entre el compresor y el condensador, para después pasar al recipiente y luego por la línea

de líquido al evaporador, retornando finalmente al cárter del compresor para procurar un nivel correcto de aceite en éste.

Vista esta relación refrigerante - aceite, una característica importante que distingue a los refrigerantes es su miscibilidad, que es la habilidad del refrigerante a disolverse en el aceite. Con referencia a esta miscibilidad, los refrigerantes se pueden dividir en tres grupos:

1. Aquellos que son miscibles con el aceite en todas proporciones bajo las condiciones encontradas en el sistema de refrigeración.
2. Aquellos que son miscibles bajo condiciones normales encontradas en la sección de condensación.
3. Aquellos que no son miscibles con el aceite a cualquier condición encontrada en el sistema.

Es preferible un refrigerante que pertenezca al primer grupo, para que retorne el aceite normalmente al compresor y no quede este adherido en la pared interior de los tubos del evaporador o del condensador (grupos 2 y 3), disminuyendo la capacidad de transferencia de calor y el nivel normal de aceite en el cárter del compresor.

Dentro de los refrigerantes pertenecientes a este grupo, se encuentra el **R-12**. Sin embargo, debido a que el **R-12** está en vías de ser sustituido por el **R-134a** por razones ecológicas, no será objeto de análisis en este trabajo.

En trabajos a temperaturas bajas o en instalaciones con grandes compresores, son necesarios refrigerantes especiales, pero en la refrigeración comercial, industrial y aire acondicionado son utilizados compresores del tipo recíprocante, que usan casi exclusivamente los refrigerantes **R-22** y **R-502**.

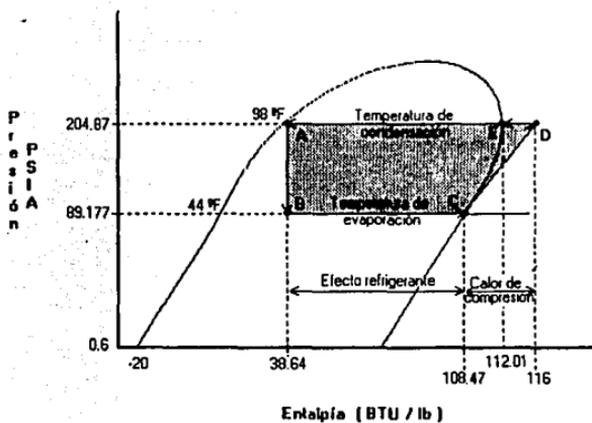
Entonces, de estos dos se selecciona el **R-22** para usarse en el sistema de refrigeración, el cual pertenece al segundo grupo de miscibilidad. Es similar al **R-12** en sus características. Sin embargo, tiene presiones de saturación mucho más altas que el **R-12**, tiene un calor latente de evaporación mucho mayor y un volumen específico inferior.

Para simplificar el problema de retorno del aceite al compresor, un separador de aceite se incluirá en el sistema.

**III.5.4 Análisis del ciclo de refrigeración.** Con las condiciones de operación establecidas y el refrigerante seleccionado, se efectúa el análisis del ciclo (**Figura 3.2**) que debe seguir el sistema de refrigeración por diseñar. La finalidad de este análisis es conocer los cambios de condición del refrigerante durante el ciclo y los efectos de estos cambios sobre el mismo.

**Nota:** Debido a que los valores tomados de las tablas están expresados en unidades del Sistema Inglés, los cálculos a desarrollar del efecto refrigerante, calor de compresión y calor cedido estarán expresados en este sistema. Los resultados finales se expresarán en Sistema Inglés y seguido sus equivalencias expresadas en Sistema Internacional, entre paréntesis.

El ciclo inicia en el **punto A**, donde el refrigerante es un líquido saturado. Las propiedades



**Figura 3.2**  
**Gráfica del ciclo Presión - Entalpía**  
**correspondiente al R-22**  
**para el sistema de refrigeración.**

temperatura (**T**), presión (**P**), volumen específico (**v**), entalpía (**h**), y entropía (**s**) correspondientes a este punto, pueden leerse en la **Tabla 7 del Apéndice B**, con la temperatura de condensación como dato de entrada.

$$T_A = 98 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$P_A = 204.87 \text{ PSIA}$$

$$h_A = 38.640 \text{ BTU / lb}$$

$$v_A = 0.01398 \text{ pie}^3 / \text{lb}$$

$$s_A = 0.07832 \text{ BTU / (lb) (}^\circ\text{R)}$$

**Proceso de expansión.** Este ocurre del punto **A** al punto **B**. La entalpía mantiene constante su valor durante el proceso, y el refrigerante en el punto **B** es una mezcla líquido-vapor. Con la temperatura de evaporación como dato de entrada, la presión correspondiente a este punto puede leerse en la **Tabla 7 del Apéndice B**. El volumen específico y la entropía se determinan con datos de esta misma tabla y de la **Figura 3.2**, sustituidos en las ecuaciones 3.6 y 3.7. La entalpía del punto **B** es igual a la del punto **A**. Por lo tanto:

$$T_B = 44 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$P_B = 89.177 \text{ PSIA}$$

$$h_B = h_A = 38.640 \text{ BTU / lb.}$$

Las siguientes expresiones son utilizadas para determinar el volumen específico y la entropía respectivamente, de una mezcla líquido-vapor:

$$v_m = (y) (v_f) + (x) (v_g) \quad (3.6)$$

$$s_m = (y) (s_g) + (s) (s_g) \quad (3.7)$$

donde (  $x$  ) es la calidad del vapor o porcentaje de vapor en la mezcla; (  $y$  ) es el porcentaje de humedad o líquido en la mezcla (  $y = 1 - x$  ).

Con los siguientes datos correspondientes al renglón de la temperatura de evaporación de 44 °F (Tabla 7 del Apéndice B) se obtienen los siguientes valores:

$$v_f = 0.012695 \text{ pie}^3 / \text{lb}$$

$$v_g = 0.61448 \text{ pie}^3 / \text{lb}$$

$$s_f = 0.04855 \text{ BTU} / (\text{lb}) (^\circ\text{R})$$

$$s_g = 0.21912 \text{ BTU} / (\text{lb}) (^\circ\text{R})$$

$$x = 0.18 \text{ (dato tomado del diagrama del ciclo).}$$

Para el punto B (Figura 3.2) se calculan el volumen específico y la entropía, utilizando las ecuaciones 3.6 y 3.7:

$$v_B = [(0.82) (0.012695 \text{ pie}^3 / \text{lb})] + [(0.18) (0.61448 \text{ pie}^3 / \text{lb})]$$

$$v_B = 0.1210 \text{ pie}^3 / \text{lb}$$

$$s_B = [(0.82) (0.04855 \text{ BTU}/(\text{lb})(^\circ\text{R}))] + [(0.18) (0.21912 \text{ BTU}/(\text{lb})(^\circ\text{R}))]$$

$$s_B = 0.07925 \text{ BTU} / (\text{lb}) (^\circ\text{R}).$$

**Proceso de vaporización.** Este proceso sucede a temperatura y presión constante, del punto B al punto C. La característica que distingue al punto B del punto C, es que la entalpía aumenta en este último, por lo que el refrigerante es un vapor saturado y no una mezcla líquido-vapor como en el punto B. Las propiedades correspondientes al punto C, pueden leerse directamente en la Tabla 7 del Apéndice B, con la temperatura de evaporación como dato de acceso:

$$T_C = 44 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$P_C = 89.177 \text{ PSIA}$$

$$h_C = 108.472 \text{ BTU / lb}$$

$$v_C = 0.61448 \text{ pie}^3 / \text{lb}$$

$$s_C = 0.21912 \text{ BTU / (lb) (}^\circ\text{R)}$$

El efecto refrigerante, que es el trabajo hecho por cada unidad de masa de refrigerante cuando viaja por el evaporador, se refleja en la cantidad de calor que extrae de la carga de refrigeración. Esta cantidad de calor puede determinarse substituyendo las entalpias correspondientes en la ecuación 3.8:

$$\text{Efecto Refrigerante } (q_e) = h_c - h_b \quad (3.8)$$

$$q_e = 108.472 \text{ BTU / lb} - 38.640 \text{ BTU / lb}$$

$$q_e = 69.832 \text{ BTU / lb (162,418.06 Joules / kg).}$$

**Proceso de compresión.** Este proceso ocurre a entropía constante del punto **C** al punto **D** y el refrigerante en este último punto es un vapor sobrecalentado. Las propiedades respectivas del punto **D**, pueden aproximarse en la intersección de la línea de entropía constante desde el punto **C** y la línea de presión constante, correspondiente al punto **A** (Ver Figura 3.2), teniéndose así:

$$P_D = 204.87 \text{ PSIA}$$

$$h_D = 116 \text{ BTU / lb}$$

El calor de compresión, que es el calor agregado al refrigerante como resultado de la energía de trabajo utilizada por el compresor, puede determinarse de la diferencia de entalpías de los puntos D y C, usando la ecuación 3.9.

$$\text{Calor de compresión } (q_w) = h_d - h_c \quad (3.9)$$

$$q_w = 116 \text{ BTU / lb} - 108.472 \text{ BTU / lb}$$

$$q_w = 7.528 \text{ BTU / lb (17,508 Joules / kg)}$$

**Proceso de condensación.** El proceso está compuesto de dos trayectorias. La primera del punto D al punto E, donde el refrigerante cambia de vapor sobrecalentado a vapor saturado, y la segunda del punto E al punto A, donde el refrigerante cambia de vapor saturado a líquido saturado, concluyendo así un ciclo. Las propiedades correspondientes al punto E se leen en la **Tabla 7 del Apéndice B**, utilizándose la presión de condensación como dato de entrada:

$$P_E = 204.87 \text{ PSIA}$$

$$T_E = 98 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$h_E = 112.015 \text{ BTU / lb}$$

$$v_E = 0.26467 \text{ pie}^3 / \text{lb}$$

$$s_E = 0.20989 \text{ BTU / (lb) } (^\circ\text{R})$$

Como dato adicional, el calor cedido por el refrigerante en el condensador (calor de rechazo) puede determinarse mediante la ecuación 3.10, sustituyendo las entalpías del punto D y el punto A.

$$\text{Calor cedido } (q_c) = h_d - h_a \quad (3.10)$$

$$q_c = 116 \text{ BTU / lb} - 38.640 \text{ BTU / lb}$$

$$q_c = 77.36 \text{ BTU / lb.} (179,926.98 \text{ Joules / kg}).$$

### **III.6 Selección de unidades.**

**III.6.1 Selección del compresor.** El compresor tiene dos funciones en el ciclo de refrigeración por compresión. En primer lugar succiona el vapor refrigerante y reduce la presión en el evaporador a un punto en el que puede ser mantenida la temperatura de evaporación deseada. En segundo lugar, el compresor eleva la presión del vapor refrigerante a un nivel lo suficientemente alto, de modo que la temperatura de saturación sea superior a la temperatura del medio enfriante disponible para la condensación del vapor refrigerante.

Existen tres tipos básicos de compresores:

1. Reciprocantes.
2. Rotatorios.
3. Centrifugos.

Los compresores centrifugos son utilizados ampliamente en grandes sistemas centrales de acondicionamiento de aire. Los compresores rotatorios se utilizan en el campo de los refrigeradores domésticos. Los compresores reciprocantes son ampliamente utilizados en capacidades de menor caballaje para las aplicaciones comerciales, domésticas e industriales, gracias a: su adaptabilidad a diferentes refrigerantes, a la facilidad con que permite el desplazamiento de líquido a través de tuberías dada la elevada presión creada

por el compresor, a su durabilidad, a la sencillez de su diseño y a su costo relativamente bajo.

Debido a que el sistema de acondicionamiento de aire del cuarto de pruebas es de un tamaño medio, donde no es necesario bajar la temperatura a niveles muy bajos, y a las ventajas resaltadas en el párrafo anterior, el tipo de compresor seleccionado para ser utilizado en este sistema es recíprocante semi - hermético.

El análisis de todos los factores que afectan el funcionamiento del compresor no resulta práctico. Por lo tanto, la capacidad del compresor y sus requerimientos de potencia son determinados exactamente mediante la prueba real del compresor, y estos datos son listados en tablas que el fabricante elabora para sus diferentes modelos.

Para la selección del compresor, se deben considerar los siguientes datos:

1. La carga de refrigeración = 76,019.68 BTU/ hr (22,278.02 Watts).
2. La temperatura de evaporación = 44 °F (6.7 °C).
3. La temperatura de condensación = 98 °F (36.7 °C).

Con la temperatura de evaporación como dato de entrada a la tabla de datos del fabricante, se localiza un compresor que utilice R-22 y tenga una capacidad refrigerante que cubra la carga de refrigeración.

El flujo másico de refrigerante necesario para obtener la capacidad refrigerante, puede determinarse aplicando la ecuación 3.11.

$$\text{Flujo másico (m)} = \text{carga de refrigeración} / \text{efecto refrigerante} \quad (3.11)$$

$$m = [(76,019,68 \text{ BTU} / \text{hr}) / 69,832 \text{ BTU} / \text{lb}] (1 \text{ hora} / 60 \text{ min}).$$

$$m = 18.14 \text{ lb} / \text{min} (0.1372 \text{ Kg} / \text{seg}).$$

**III.6.2 Selección del condensador.** Básicamente, el condensador es una unidad de intercambio de calor en donde el calor absorbido por el refrigerante durante el proceso de vaporización, más la energía equivalente del trabajo de compresión, es cedido al medio de condensación. Conforme el calor es cedido por el vapor de elevada presión y temperatura, su temperatura desciende al punto de saturación y el vapor condensa convirtiéndose en líquido, de aquí el nombre de condensador. Los condensadores son en general de tres tipos:

1. Enfriados por aire.
2. Enfriados por agua.
3. Evaporativos.

Los condensadores enfriados por aire, como su nombre lo indica, emplean el aire como medio de condensación, mientras que los enfriados por agua utilizan ésta para condensar el refrigerante. Los condensadores evaporativos emplean simultáneamente el aire y el agua como medio de condensación.

De estos tres tipos de condensador, se elige el enfriado por aire, pues es el más adecuado ya que su instalación es sencilla al no requerir acondicionamientos de tubería de agua adicionales.

La capacidad de un condensador para ceder calor se denomina también capacidad total de calor rechazado, y ésta se puede determinar mediante la ecuación 3.12.

$$Q_c = (m) (q_c)$$

3.12

donde:

$Q_c$  = capacidad total de calor rechazado (BTU / min)

$m$  = flujo másico de refrigerante (Lb / min)

$q_c$  = calor de rechazo (BTU / lb)

En la selección del condensador, es necesaria esta capacidad total de calor rechazado y el D.T. de condensación. Los fabricantes de condensadores tabulan estas dos características en tablas de selección para sus diferentes modelos.

El D.T. de condensación elegido previamente es de 18°F (10°C), mientras que la capacidad total de calor rechazado se calcula substituyendo los valores del flujo másico del refrigerante y el calor rechazado determinados anteriormente, en la ecuación 3.11:

$$Q_c = [(18.14 \text{ lb / min}) (77.36 \text{ BTU / lb})] (60 \text{ min / 1 hr})$$

$$Q_c = 84,198.62 \text{ BTU / hr (24,674.87 Watts).}$$

Utilizando el D.T. de condensación como dato de acceso a la tabla del fabricante, se elige un modelo que cubra la capacidad de calor total rechazado antes calculada.

**III.6.3 Selección del evaporador.** El evaporador es el componente del lado de baja presión del sistema de refrigeración en donde el refrigerante hierve, absorbiendo el calor del espacio de refrigeración a medida que se convierte en vapor, lográndose con ello el objetivo del sistema de refrigeración.

Los tres tipos principales de evaporador de acuerdo a su construcción son:

1. Evaporador de tubo desnudo.
2. Evaporador de placa.
3. Evaporador de tubo aletado.

Los evaporadores de tubo desnudo y de placa son clasificados como evaporadores de superficie primaria, por estar ésta en contacto con el refrigerante vaporizando en el interior del conducto. Con el evaporador aletado, los tubos que transportan el refrigerante son la única superficie primaria. Las aletas no están llenas con refrigerante y por eso, son superficies secundarias de transferencia de calor, con la función de recoger calor del aire circundante y conducirlo a los tubos que transportan el refrigerante.

El evaporador de tubo desnudo es usualmente construido de tubería de acero o tubería de cobre. La tubería de acero es utilizada para evaporadores largos y para evaporadores en sistemas de refrigeración que usan amoníaco, mientras que la tubería de cobre es utilizada en la manufactura de evaporadores para sistemas de refrigeración de pequeña capacidad.

El evaporador de placa está constituido de una tubería que transporta el refrigerante entre dos láminas de metal que son soldadas en los extremos. Para proveer de un buen contacto térmico entre las láminas y la tubería del refrigerante, el espacio que queda vacío entre las láminas es llenado con una solución eutéctica. Este tipo de evaporador es ampliamente usado en refrigeradores y congeladores domésticos, y también se arman en grupos o bancos para instalarse en cuartos de almacenamiento a baja temperatura.

En el evaporador de tubo desnudo, una película de aire se adhiere a la superficie exterior actuando como un aislador y disminuyendo el proceso de transferencia de calor.

que depende principalmente del área superficial y del diferencial de temperatura. Un método usado para compensar las pérdidas de conducción debidas a la película de aire es incrementando el área superficial. Esto puede obtenerse por medio de la adición de aletas al tubo desnudo, dando lugar al evaporador aletado. La adición de aletas no elimina la película de aire pero suministra más área a la que la película de aire se adhiere y proporciona más área superficial a la transferencia de calor, sin incrementar el tamaño del evaporador. Si se provoca una circulación del aire a través del evaporador aletado mediante un ventilador, disminuyen aún más las pérdidas de transferencia de calor causadas por la película de aire.

A esta última disposición se le conoce como evaporador de convección forzada, y por las características antes mencionadas se considera el más apropiado para mantener una correcta distribución de la temperatura en el interior del cuarto de pruebas. Por lo tanto, se elige este tipo de evaporador de convección forzada para formar parte del sistema de refrigeración, el cual se colocará en la sección de retorno de la manejadora.

Para la selección del evaporador, mediante el uso de las tablas del fabricante, son necesarios los siguientes datos:

1. La capacidad refrigerante del sistema. 69.832 BTU / lb (162,418.06 Joules / kg)
2. El D.T. de evaporación. 16°F (8.9 °C)
3. La temperatura de evaporación. 44 °F (6.7 °C)

**III.6.4 Selección del dispositivo de control de flujo del refrigerante.** En el sistema de refrigeración, un componente indispensable es el dispositivo de control de flujo, o aparato de medición del refrigerante. Las principales funciones de este dispositivo son permitir el flujo de refrigerante al evaporador a la proporción necesaria para remover el

calor de la carga de refrigeración, así como de mantener el diferencial de presión apropiado entre los lados de alta y baja en el sistema de refrigeración.

Existen cinco tipos principales de dispositivos de control de flujo del refrigerante, utilizados en diferentes aplicaciones de la refrigeración:

1. Válvula de expansión automática.
2. Válvula de expansión termostática.
3. Tubo capilar
4. Flotador en el lado de baja.
5. Flotador en el lado de alta.

La válvula de expansión automática mantiene una presión constante en el serpentín evaporador, mientras el compresor está en funcionamiento. En esta válvula de expansión de presión constante con diafragma, la presión en el evaporador efectúa el movimiento del diafragma, al que está sujeto el conjunto de la aguja. La condición de estabilidad en el flujo de refrigerante y evaporación es necesaria para el buen funcionamiento de la válvula de expansión de presión constante. Su aplicación se limita a condiciones de cargas aproximadamente constantes en el evaporador.

La válvula de expansión termostática puede ser del tipo de muelle o del tipo de diafragma. Ambas están equipadas con un tubo capilar y un bulbo sensor, que transmiten a la válvula la relación de presión de la temperatura del vapor en la salida del evaporador donde el sensor está localizado. El principal objetivo de la válvula de expansión termostática es mantener un abundante suministro de refrigerante en el evaporador sin permitir que el líquido refrigerante pase a la línea de succión y al compresor. Es

ampliamente utilizada en instalaciones donde las cargas de refrigeración no permanecen constantes.

El tubo capilar es la forma más sencilla del dispositivo de control y generalmente es el menos costoso. No existen partes móviles que sufran desgaste o requieran reemplazo, pues es un tubo de pequeño diámetro, de longitud necesaria para la carga de refrigeración que debe manejar. Este tipo de dispositivo de control se utiliza generalmente en equipo pequeño con cargas casi constantes tales como refrigeradores y congeladores domésticos, acondicionadores de aire pequeños y acondicionadores de aire tipo paquete. Las desventajas de este control son que están expuesto a taparse, requieren una carga exacta de refrigerante y no son sensibles a los cambios de carga como otros dispositivos de control.

Otro tipo de dispositivo de control de refrigerante es el mecanismo de flotador. El flotador se fabrica de metal que no reaccione con el refrigerante utilizado en el sistema. Este flotador tiene forma de una bola que asciende o desciende dentro de la cámara del flotador, en función del nivel del refrigerante. Se conecta con un brazo y un cople a la válvula de aguja, que abre o cierra contra un asiento, permitiendo o impidiendo el flujo de refrigerante a la cámara. Dependiendo de la localización de este dispositivo, puede llamarse flotador en el lado de alta o flotador en el lado de baja.

Con base en la información anterior, se elige la válvula de expansión termostática como el dispositivo de control de flujo del refrigerante del sistema de refrigeración del cuarto de pruebas, por tener la ventaja sobre la válvula de expansión automática y el tubo capilar de poder manejar condiciones de carga más ampliamente fluctuantes.

**III.6.5 Determinación de la capacidad de la manejadora de aire.** Los ventiladores de las manejadoras de aire proporcionan la energía adicional necesaria para crear una diferencia de presión para las condiciones de flujo en un sistema de ventilación.

Los ventiladores son generalmente clasificados por la **A.M.C.A.** (Air Moving and Conditioning Association), de Estados Unidos por categorías de acuerdo a los límites de operación en cuanto a presión estática:

- **Clase I:** 3 ¼ pulgadas de presión total máxima.
- **Clase II:** 6 ¼ pulgadas de presión total máxima.
- **Clase III:** 12 ¼ pulgadas de presión total máxima.
- **Clase IV:** por encima de 12 ¼ pulgadas de presión total máxima.

Las manejadoras de aire emplean ventiladores de jaula de ardilla (centrífugos) en lugar de ventiladores de tipo propela (axial). Un ventilador de tipo axial se sobrecargará en contra de una carga estática (perdida por fricción en el ducto). Por otro lado, el ventilador centrífugo impulsa menos aire, por lo cual la potencia disminuirá cuando se eleve la carga estática.

Hablando en términos generales, un ventilador de tipo axial vencerá una carga estática de 1/4 plg. Los ventiladores centrífugos curvados hacia adelante están contruidos con aspas en la dirección de la rotación. Tienen un amplio rango de operación, son silenciosos y trabajan a bajas velocidades. El ventilador centrífugo curvado hacia delante es un ventilador de baja presión o **Clase I**.

Los ventiladores centrífugos inclinados hacia atrás son más eficientes que los ventiladores centrífugos hacia delante. Tienen una curva característica de potencia que

evita la sobrecarga, esto es, que evita que se exceda el máximo nivel de potencia del motor. Se encuentran comúnmente en las instalaciones **Clase II**.

Los sistemas de alta presión utilizan ventiladores **Clase III** o **Clase IV**. Por ejemplo un edificio muy alto puede usar un ventilador de cualquiera de estas clases.

La mayoría de las aplicaciones de aire acondicionado de tamaño promedio están dentro de los requisitos de la **Clase I** o **Clase II**.

**Capacidad de ventilación requerida.** Para determinar los cambios de aire requeridos, se considerará una relación de 3 cambios de aire por minuto. El volumen del cuarto (en pies<sup>3</sup>) se dividirá entonces entre esta relación.

**Volumen del cuarto = 4,215.90 pies<sup>3</sup>.**

**4,215.9 pies<sup>3</sup> / 3 cambios de aire por minuto = 1,405.3 pies<sup>3</sup> / min.**

Con los pies cúbicos por minuto obtenidos, se remite a las tablas del fabricante de ventiladores para determinar las r.p.m. requeridas por el ventilador y la potencia al freno del motor, tomando como base también la presión estática total determinada, el tipo de ventilador y el tipo de la manejadora de aire.

La **Tabla 8** del **Apéndice B** muestra la tabla para determinar las r.p.m. y la potencia al freno del motor, para ventiladores tipo LF (Baja presión curvado hacia adelante), para manejadoras del tipo de descarga vertical hacia arriba (tipo VCS, según Dunham Bush) proporcionadas por la Compañía Dunham Bush.

Para el sistema en cuestión se selecciona un ventilador centrífugo curvado hacia adelante Clase I. Esta selección se fundamenta en el hecho de que los ventiladores Clase I y Clase II son apropiados en aplicaciones promedio de aire acondicionado y calefacción, y al hecho de que el cuarto a ventilar es de dimensiones relativamente pequeñas.

Para efectos de este trabajo, el cual es un ensayo académico, se considera una presión total máxima de 2.50 pulgadas de H<sub>2</sub>O de presión total máxima ya que el cálculo del valor real se requiere realizarlo en la práctica con el equipo instalado.

Según la Tabla 8 del Apéndice B, para 1,405 pies<sup>3</sup> de aire, y con una presión estática total de 2.50 plg. de H<sub>2</sub>O, es necesario un motor de 1,832 r.p.m., con una potencia al freno de 1.25 hp, entrando en la tabla con un valor de 1400 pies<sup>3</sup> / min.

### **III.7 Descripción del equipo.**

Una vez que ya se ha seleccionado el tipo y calculado la capacidad de los equipos de enfriamiento y calefacción y suministro de aire, a continuación se detallará cada uno de los equipos y accesorios sugeridos que integren el sistema. Posteriormente, se describirá su instalación.

**III.7.1 Unidad condensadora.** La unidad condensadora consiste de un compresor reciprocante semi - hermético, con unidad de condensación enfriada por aire integrada al compresor. La ventaja de la unidad de condensación enfriada por aire es que el enfriamiento por este medio es barato de mantener, no requiere agua y no tiene peligro de congelación en tiempo de frío. Para lograr buena condensación, la unidad debe ser colocada en un lugar donde exista adecuado suministro de aire fresco.

**III.7.2 Manejadora de aire.** La manejadora de aire consiste de dos secciones: descarga y retorno, con el flujo de aire de descarga vertical hacia arriba. El ventilador de la manejadora de aire es del tipo centrífugo curvado hacia adelante Clase I, accionado por un motor de 1832 r.p.m., con una potencia al freno de 1.25 hp. La manejadora de aire es equipada con un serpentín de enfriamiento en el retorno.

Para regular el paso de aire de retorno, un damper es acoplado a la sección de retorno. Este damper es operado por medio de un motor - actuador que, según la temperatura requerida en el interior del cuarto, abrirá o cerrará el paso del aire al evaporador. El damper consta de cinco aletas (cuatro aletas cubriendo el evaporador). Mientras que las aletas del evaporador permanecen cerradas, la aleta libre permanece abierta y desvía el aire de retorno hacia las resistencias. Cuando las aletas están abiertas al evaporador, la aleta libre está cerrada, para evitar que el aire sea desviado a las resistencias, forzando que este se vaya al evaporador, cuando se requiere enfriamiento en el interior.

Para proveer un filtrado óptimo del aire de retorno, se incluye una caja para alojar filtros mecánicos. El término mecánico describe un filtro típico de material fibroso. La importancia de colocar filtros reside en la efectividad de estos en la remoción de suciedad, cabello, partículas de polvo grandes, etc. Si estos elementos llegaran directamente al serpentín de enfriamiento, este se congelaría, conduciendo a una falla del compresor.

**III.7.3 Resistencias eléctricas.** El calentador propuesto es eléctrico y especial para ductos, aprovechando la ventaja que éste tiene para acoplarse al ducto de descarga de aire de la manejadora, y debe tener una capacidad para compensar la pérdida total por transmisión de calor de 2,569.60 BTU / hr, equivalente a una potencia de 0.75 KWatts.

Como accesorios de seguridad, las resistencias contienen un interruptor de flujo de aire y protectores térmicos. Con el interruptor de flujo de aire, las resistencias solo podrán operar con un flujo de aire a través de ellas, con objeto de proteger las resistencias contra alguna falla inesperada del ventilador por causas de índole mecánico o eléctrico. Al pasar flujo de aire (generando presión a través del interruptor) los contactos del interruptor cierran el circuito. Si por alguna eventualidad no pasara flujo de aire, los contactos se abren y no permiten el paso de la corriente eléctrica a las resistencias. Este interruptor es ajustado de fábrica y es parte del calentador.

El otro dispositivo de seguridad de las resistencias es el protector térmico. Con este dispositivo, los elementos de calefacción son protegidos de cualquier sobrecalentamiento que pueda causarse por falla del ventilador. Estos aparatos son interruptores de límite que miden la temperatura del aire y cuando se sobrecalientan abren el circuito eléctrico, deshabilitando el funcionamiento de las resistencias. Los interruptores son de restablecimiento automático.

### **III.8 Instalación del equipo.**

**Instalación de la unidad condensadora.** Como se mencionó la unidad condensadora consistirá de un compresor tipo semihermético, con los siguientes accesorios instalados en las líneas de refrigerante.

**Acumulador de succión.** Si se permite que fluya refrigerante líquido a través de un sistema de refrigeración o aire acondicionado y retorne al compresor antes de ser evaporado, puede causar daños al compresor debido a golpes del líquido, pérdidas de aceite en el cárter o dilución del aceite dañando las chumaceras. Para prevenir lo anterior,

es instalado un acumulador de succión. Su función es la de interceptar el refrigerante líquido antes de que este llegue a las válvulas del compresor o al cárter. Este se localiza en la línea de succión cerca del compresor. La acción de la válvula termostática de expansión a veces no es tan rápida para responder a los cambios de carga. Por tal motivo, algo de líquido saldrá ocasionalmente del evaporador a través de la línea de succión. El líquido atrapado por el acumulador se evapora y llega como gas al compresor.

**Mirilla.** Una combinación de cristal mirilla e indicador de humedad es esencial para facilitar el mantenimiento en el campo del sistema de refrigeración. Esta mirilla es un medio conveniente para determinar la carga de refrigerante mostrando burbujas cuando la carga es insuficiente y hay un haz de flujo único cuando la carga de refrigerante es suficiente. La mirilla consiste en una apertura con vidrio en la línea del líquido del sistema. Cuando la línea está completamente llena con el refrigerante líquido no hay casi obstrucción cuando se mira a través de la línea. Sin embargo, si hay algo de gas en la línea de líquido, se mostrará inmediatamente en forma de burbujas al pasar por la mirilla. Debe notarse también que en una mirilla de este tipo, el vidrio también se mostrará claro cuando solamente hay gas presente. La mirilla contiene en su interior un punto pequeño coloreado, el cual es un indicador de humedad de una composición química especial que cambia de color con la cantidad de humedad en el refrigerante. Este accesorio se instala en la línea de descarga del sistema.

**Eliminadores de vibración.** Con el fin de evitar la transmisión de ruido y vibración procedente del compresor a través de las tuberías de refrigeración, se instalan eliminadores de vibración tanto en la línea de succión como en la línea de descarga.

**Filtro deshidratador de la línea de líquido.** Un filtro deshidratador de la línea de líquido debe emplearse en todos los sistemas que se instalen y en todos los sistemas

abiertos en el campo para proporcionar servicio. La humedad puede ser un factor que de muchas formas puede causar daños al sistema, por lo que la reducción de la humedad puede permitir una vida más prolongada del compresor y disminuir las reacciones violentas. El desecante usado es capaz de eliminar la humedad a un extremo bajo. Este elemento consiste de una carcasa a través de la cual pasa el refrigerante líquido. Dentro de la carcasa hay material desecante. Cuando el refrigerante cargado de humedad pasa por el secador, el desecante retira parte de la humedad. Por cada paso a través del secador se retira humedad adicional hasta que el refrigerante este suficiente seco o hasta que el secador se sature. Cuando esto sucede, el secador debe reemplazarse. Además este dispositivo protege a la válvula de expansión de particular sólidas extrañas.

**Separador de aceite.** Los separadores de aceite capturan la mayor porción de aceite que sale del compresor, y puesto que el aceite es retornado directamente al cárter del compresor por medio de una válvula flotadora, la circulación de aceite en el sistema es mínima. Los separadores de aceite son de gran ayuda para mantener la cantidad de aceite en circulación a un nivel el cual puede ser retornado adecuadamente al compresor a través de su mezcla con el refrigerante del sistema.

El separador de aceite deberá estar aislado para prevenir la condensación del refrigerante y que retorne el líquido al cárter del compresor. Un medio conveniente de regresar el aceite al compresor y que proporcione una protección máxima en contra del retorno de líquido consiste en conectar la línea de retorno de aceite a la línea de succión justamente antes del acumulador de succión.

**Manómetros.** Los manómetros constituyen la herramienta principal para verificar el funcionamiento del sistema. El manómetro para el lado de alta presión del sistema normalmente tiene un rango de 0 a 300 PSIG. El manómetro para la parte de baja presión

del sistema se denomina manómetro compuesto, ya que la escala está graduada para presiones superiores a la atmosférica, y para presiones por debajo de la presión atmosférica, en vacío en mm. (plg.) de mercurio. La escala indicada del manómetro para el lado de baja normalmente es de 38 plg. Hg. hasta 150 PSIG.

**Dispositivos de control de la unidad condensadora.** En el control de los sistemas de refrigeración se utilizan mucho los controles eléctricos y neumáticos. Los controles neumáticos se usan de preferencia en grandes sistemas centrales, mientras que los controles eléctricos se utilizan en sistemas de cualquier tamaño. Los controles incluidos para la unidad refrigerante son controles eléctricos.

La función básica de la mayoría de los dispositivos de control en el sistema de refrigeración consiste en conectar o interrumpir un circuito eléctrico que controla un contactor o alguna otra parte eléctrica del compresor. El sistema de condensación debe contener los controles que pueden conectar o interrumpir un circuito al subir o bajar la temperatura o la presión del refrigerante. Por lo tanto para proteger al compresor del sistema de enfriamiento del cuarto de pruebas contra presiones altas o bajas, el compresor cuenta con los dispositivos de control apropiados. Los controles del compresor son:

**1. Control de baja presión.** El control de baja presión actúa con la presión de succión del refrigerante y normalmente se utiliza para regular el ciclo del compresor con el fin de controlar la capacidad, o como control límite de baja presión. El control de baja presión cierra el circuito al subir la presión y lo interrumpe al descender ésta. El elemento sensor se conecta a la cabeza del compresor. Estos controles se conectan en el circuito eléctrico del compresor, los cuales se mantendrán normalmente cerrados, esto es, cerrando el circuito eléctrico. Cuando el compresor sufra una alta o baja presión del refrigerante respecto a la permisible por el fabricante, estos controles entrarán en función.

**2. Control de alta presión.** El control de alta presión es sensible a la presión de descarga del compresor, y normalmente se utiliza para parar al compresor en el caso de que exista una presión excesiva. El control de alta presión cierra el contacto al bajar la presión y lo abre con un aumento de la misma. El elemento sensor es conectado a la cabeza del compresor.

**3. Control de operación del ventilador del compresor.** Con el fin de mantener constante la presión de condensación en unidades enfriadas por aire, se utiliza un control de presión que actúa interrumpiendo el circuito del ventilador del condensador al bajar la presión de condensación y lo conecta al subir ésta. Este control es frecuentemente definido como un control de alta presión de acción inversa, puesto que actúa en forma inversa que un control de alta presión normal. El elemento sensor es conectado a la línea de descarga del sistema.

El ajuste de los controles de presión es recomendado por el fabricante del compresor correspondiente.

El diagrama de instalación de la unidad condensadora se muestra en el **Plano 11 del Apéndice A.**

El diagrama eléctrico de la unidad condensadora, resistencias y manejadora de aire se muestra en el **Plano 12 del Apéndice A.**

El diagrama eléctrico de los controles de presión del compresor, de flujo de aire y protectores térmicos de las resistencias es mostrado en el **Plano 13 del Apéndice A.**

Los planos 14 y 14a del Apéndice A muestran la localización e instalación de la manejadora de aire, la dimensión de los ductos de descarga y retorno que conectan a la manejadora con el cuarto de pruebas y la localización de las resistencias eléctricas.

## CAPÍTULO IV

### SISTEMA DE CONTROL

#### **IV.1 Sistemas de control en calefacción y aire acondicionado.**

El desarrollo de sistemas de control ha ido a la par con el desarrollo de todo el equipo de calefacción y aire acondicionado. Determinados controles han servido para satisfacer la necesidad de mejorar la operación, la seguridad, la economía o una combinación de todos estos factores.

Explicado en forma sencilla, un sistema de control checa y regula una variable dentro de los límites pre-establecidos. El sistema consiste en dos elementos:

- El aparato de control.
- El aparato regulado.

Un aparato de control, llamado también controlador, mide algunas condiciones variables que deben ser mantenidas, por ejemplo, la temperatura de un recinto, para entonces activar el aparato regulado, como puede ser una válvula de gas, ajustando el suministro de calor y manteniendo la temperatura del aire dentro de los límites prescritos. El medio regulado por el aparato controlado (el flujo de gas en este caso) es llamado el agente de control, para distinguirlo de la variable controlada (la temperatura del aire del recinto) detectada por el controlador.

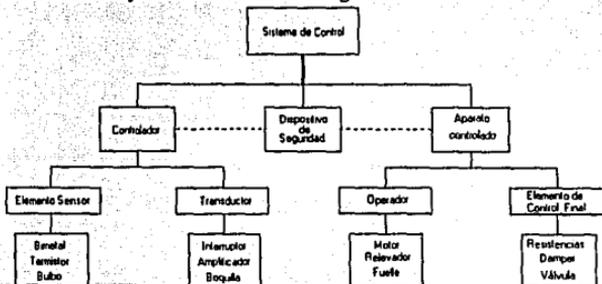
Todo controlador está constituido de dos partes reconocibles: el elemento sensor y su transductor. El elemento sensor mide cualquier cambio en la variable que es mantenida constante. El transductor convierte el efecto del sensor en una acción para mover el

aparato controlado que puede estar situado a distancia del controlador. Por ejemplo, un elemento bimetalico que se expande con la temperatura es el elemento sensor. El interruptor pegado al bimetalico que cierra el circuito electrico es el transductor.

El aparato controlado puede ser visto como un dispositivo de dos componentes: su operador y su elemento de control final. En una valvula solenoide, la bobina que convierte la energia electrica en movimiento del vástago de la valvula es el operador. El elemento de control final es la valvula misma. Juntos, estos componentes forman lo que se llama el aparato controlado.

La seguridad puede verse tambien como un elemento del sistema. Además del controlador y del aparato controlado, cada sistema de control contiene uno o más dispositivos de seguridad que interrumpen la operacion, o toman una nueva accion, cuando en cualquier momento se presenta una condicion peligrosa.

El grupo de aparatos que ejecutan una o más de estas funciones (controlador, aparato controlado o de seguridad) son denominados colectivamente como los elementos de un sistema de control y están ilustrados en la Figura 4.1.



**Figura 4.1**  
**Componentes de un sistema de control**

Los controles en aplicaciones industriales se diseñan para satisfacer los requisitos de una aplicación en particular. Es a este nivel donde se generaliza el uso de controles neumáticos y electrónicos junto con los controles eléctricos comunes.

Los controles electrónicos son los más nuevos de los tres tipos de controles antes mencionados y ofrecen un gran número de ventajas que los han convertido muy populares en el campo de la refrigeración, aire acondicionado y calefacción. Los elementos sensores del controlador electrónico son sencillos, ya que no hay partes móviles que produzcan problemas. El elemento regulador del controlador es generalmente colocado a cierta distancia del elemento sensor lo cual ofrece que todos los ajustes puedan hacerse desde una estación central. Los controles electrónicos solo necesitan conexiones sencillas de bajo voltaje entre el elemento sensor y el circuito eléctrico.

Por tales razones, el sistema de control del cuarto de pruebas se diseña pensando únicamente en el uso de elementos electrónicos. La flexibilidad es una ventaja importante, ya que los circuitos electrónicos pueden ser combinados con circuitos eléctricos para obtener resultados que generalmente no pueden lograrse separadamente. Los circuitos electrónicos pueden sentir los cambios de temperatura en varios puntos (ambiente interior, aire exterior, descarga del ventilador, etc.) y programar las reacciones de los controladores de acuerdo con estos cambios. Otro ejemplo se encuentra en un elemento sensor de cierta longitud para instalación dentro de un ducto de modo que la temperatura del aire pueda ser promediada a todo lo largo en vez de ser medida en un solo punto con un bulbo.

#### **IV.2 Diseño.**

De acuerdo con las características identificadas de los componentes de un sistema de control, para el cuarto de pruebas se hacen necesarios un aparato de control con los

sensores apropiados para medir la condición que debe ser mantenida constante, que en este caso es la temperatura interior, así como de un aparato regulado o controlado que reciba la señal del aparato de control y de esta manera regule la temperatura.

Cabe recordar que el suministro de calor al cuarto se lleva a cabo mediante las resistencias eléctricas instaladas en el ducto de descarga de aire de la manejadora. Por otro lado, el calor es retirado del interior mediante la regulación del flujo de aire de retorno a través del serpentín de enfriamiento instalado en la manejadora. El suministro de calor y el enfriamiento son los puntos en el proceso que deben ser controlados.

De este modo, los elementos que constituyen el sistema de control son:

- El aparato de control, que gobierne la operación de las resistencias eléctricas y el damper de la manejadora de aire.
- El sensor, cuya función sea la de medir la temperatura en el interior del cuarto para transmitir la señal al controlador.
- Los aparatos regulados, como son las resistencias eléctricas y el damper de la manejadora de aire.

El principio de operación del sistema de control es como sigue: la temperatura del aire es medida tanto en el ducto de descarga de aire (antes de las resistencias) como al centro volumétrico del cuarto, con objeto de accionar al actuador de las resistencias y al actuador del damper, respectivamente. Dos sensores de temperatura, colocados en los puntos donde se requiere medir la temperatura del aire, son conectados cada uno a diferentes aparatos de control.

Cuando cada sensor mida diferente temperatura a la ajustada en el aparato de control, enviarán una señal al aparato de control, que a su vez emitirá también señales electrónicas a los dispositivos controlados. Estos dispositivos hacen actuar a los elementos a los cuales están conectados (resistencias eléctricas y damper).

Para el control de temperatura en el cuarto de pruebas, dos aparatos de control de temperatura son requeridos, uno gobernando el flujo de aire a través del evaporador de la manejadora por medio de un actuador, y el otro control gobernando la operación de las resistencias.

#### **IV.3 Descripción de características del equipo del sistema de control.**

Tomando como base el resultado de la investigación realizada acerca de la disponibilidad del equipo en el mercado, y en el hecho de la preferencia de usar equipo electrónico por las razones ya mencionadas, a continuación se detallan las características de cada uno de los elementos del sistema de control. Cabe mencionar que las características que se presentan fueron extraídas del catálogo de Barber Colman, relativo al equipo de control para aire acondicionado y calefacción, por lo que éstas corresponden a equipo disponible en el mercado.

**Elemento:** Controlador.

**Nombre comercial del dispositivo:** Controlador de temperatura.

**Descripción general:** El control recibe entradas (señales) de temperatura provenientes de los sensores de temperatura, y envía señales electrónicas a cualquier tipo de actuador o relevador (dispositivos controlados). Estos equipos operan en sistemas de calefacción, enfriamiento, humidificación y deshumidificación. El equipo es confiable y fácil de instalar. Incorpora un amplificador con entradas para 1000  $\Omega$  provenientes de los

sensores de temperatura. Las perillas de ajuste de temperatura deseada y calibración son visibles y accesibles sin necesidad de quitar la cubierta.

**Rango de ajuste de temperatura:** de 20 °F a 120°F.

**Elemento:** Sensor.

**Nombre comercial del dispositivo:** Sensor remoto electrónico de temperatura.

**Descripción general:** Realiza detección electrónica de temperatura por medio de un tubo sensor en lugares remotos como cuartos, ductos, líneas de líquido, estanques, aire exterior, etc., para enviar señales al control de temperatura. El tubo sensor normalmente tiene una longitud de 5 pies. La ventaja del tubo sensor en este tipo de sensores es que la temperatura detectada es promediada a lo largo de todo el tubo, evitando que la temperatura sea medida solo en un punto.

**Rango de operación:** de -40 °F a 220 °F.

**Elemento:** Aparato regulado.

**Nombre comercial del dispositivo:** Actuador de resistencias.

**Descripción general:** Dispositivo empleado para controlar el voltaje de alimentación de las resistencias instaladas en el ducto de descarga de la manejadora de aire. Cuando el control de temperatura, conectado al actuador de resistencias, detecta la diferencia en temperatura, el control envía una señal al actuador, graduando el voltaje, según las necesidades. En este caso, el elemento de control final son las resistencias.

**Elemento:** Aparato regulado.

**Nombre comercial del dispositivo:** Actuador del damper.

**Descripción general:** El actuador es un motor que responde a las señales enviadas por el control de temperatura para operar mecánicamente el damper, produciendo una acción final. Un brazo articulado se conecta al damper por medio de varillas de conexión.

Por medio de la acción del actuador, se abren o cierran las aletas del damper, manteniendo la temperatura deseada. Este motor se fabrica para trabajos que requieren control de 2 posiciones y puede desplazarse en arcos de 160° a 180° de tope a tope. El motor varía la velocidad de rotación desde 15 segundos hasta 4 o 5 minutos para ir de tope a tope.

#### **IV.4 Instalación.**

La interconexión de los instrumentos del sistema de control se muestra en el **Plano 15 del Apéndice A.**

## CAPÍTULO V

### TABLERO DE MEDICION Y OPERACION

Uno de los aspectos más importantes del cuarto de pruebas es el tablero de medición y operación, ya que desde ahí se obtendrán los parámetros necesarios para evaluar el comportamiento térmico del refrigerador y determinar el cumplimiento con las normas aplicables, con objeto de tomar decisiones para el mejoramiento del diseño y procurar la seguridad del consumidor.

El tablero debe contener los instrumentos de medición adecuados para cualquier prueba térmica establecida por N.O.M. o A.H.A.M. que se pretenda realizar.

Para definir los instrumentos requeridos en el cuarto de pruebas, se hace referencia de los métodos de prueba siguientes, incluidos en las normas NOM J 411 - 1981 y AHAM HRF - 1, 1988.

#### **Métodos de Prueba N.O.M.**

Abatimiento de temperatura sin carga a 43 ° C.

Enfriamiento máximo a 43 ° C.

Ciclo a 32 ° C.

Congelamiento de cubos de hielo a 43 ° C.

#### **Métodos de prueba AHAM.**

No load pull down test at 110 ° F.

Simulated load test at 70 ° F, 90 ° F and 110 ° F.

Ice making test at 90 ° F.

ESTA TESIS NO DEBE  
79 SALIR DE LA BIBLIOTECA

## **V.1 Descripción de objetivos de las pruebas N.O.M. y A.H.A.M.**

**Abatimiento de temperatura sin carga a 43 ° C.** Comprobar que un refrigerador solo o un refrigerador convencional, son capaces de abatir la temperatura promedio del compartimiento de alimentos, desde 43 °C a 7 °C trabajando en un ambiente de 43 °C, dentro de un tiempo que no exceda de 4 horas.

Comprobar que los refrigeradores - congeladores son capaces de abatir la temperatura promedio del compartimiento de alimentos, de 43 °C a 7 °C, trabajando en un ambiente de 43 °C, dentro de un tiempo que no exceda de 6 horas.

Comprobar que los congeladores son capaces de abatir la temperatura promedio del compartimiento de 43 °C a -12 °C, trabajando en un ambiente de 43 °C, dentro de un tiempo que no exceda de 6 horas.

Para todos los casos, el aparato deberá trabajar continuamente (sin ciclos de compresor).

**Enfriamiento máximo a 43 ° C.** Al final de la prueba de abatimiento, manteniendo el refrigerador trabajando continuamente, comprobar que es capaz de obtener las siguientes temperaturas mínimas, funcionando a una temperatura de 43 °C.

- a) **Enfriamiento máximo del compartimiento de alimentos (sin carga):** El compartimiento de alimentos del aparato debe mantener una temperatura promedio no mayor de 7 °C.

**b) Enfriamiento máximo del compartimiento congelador (sin carga):** El compartimiento congelador debe mantener una temperatura no mayor de:

-12 °C en compartimiento congelador incorporado.

-16 °C en compartimiento congelador independiente.

**Ciclo a 32 ° C.** Comprobar que un refrigerador solo, un refrigerador convencional o un refrigerador-congelador, son capaces de mantener una temperatura promedio en el compartimiento de alimentos, de 4 °C +/- 3 °C, trabajando en un ambiente de 32 °C.

Comprobar que un congelador es capaz de mantener una temperatura interior promedio de -18 °C +/- 2 °C trabajando en un ambiente de 32 °C.

En ambos casos, el refrigerador deberá estar bajo condiciones de ciclo del compresor.

**Congelamiento de cubos de hielo a 43 °C.** Comprobar que el aparato puede congelar el agua contenida en las charola para cubos de hielo, dentro de un tiempo que no exceda de siete horas a una temperatura ambiente de 43 °C.

**No load pull down test at 110 ° F.** Establecer que la temperatura del compartimiento de alimentos del gabinete se reduce de 110 °F a 44.6 °F, y observar las temperaturas de máximo de enfriamiento, trabajando continuamente en un ambiente de 110 °F.

**Simulated load test at 70 °F, 90 °F and 110 °F.** Determinar que las temperaturas específicas sean logradas por el refrigerador bajo diferentes condiciones ambientales. Las

temperaturas ambiente y las temperaturas específicas del compartimiento de alimentos se muestran en la Tabla 5.1.

**TABLA 5.1**  
**Temperatura Ambiente y Temperaturas Específicas**  
**en el Compartimiento de Alimentos**

<b>Temperatura Ambiente</b>	<b>Temperatura en el compartimiento de alimentos.</b>
70 °F (21.1 °C)	36 °F (2.2 °C)
90 °F (32.2 °C)	38 °F (3.3 °C)
110 °F (43.3 °C)	41 °F (5 °C)

El control de temperatura debe ser ajustado en una posición tal que durante la prueba, la temperatura en el compartimiento de alimentos sean los indicados en la Tabla 5.1

**Ice making test at 90 °F.** Determinar la capacidad del refrigerador para formar cubos de hielo, usando charolas o cualquier otro accesorio equipado con el gabinete, en un ambiente de 90°F. La temperatura del compartimiento de alimentos debe ajustarse a 35 °F +/- 2 °F.

El hielo debe estar formado en menos de 4 horas, a partir de que la temperatura del compartimiento de alimentos se haya estabilizado.

#### **V.2 Definición de instrumentos del tablero de operación.**

Analizando los objetivos de cada una de las pruebas térmicas establecidas por N.O.M. y A.H.A.M. se deduce que la principal variable a medir del refrigerador en prueba

es la temperatura. Así también, se observa que en la mayoría de las pruebas es necesario registrar el tiempo de operación del refrigerador, cuando trabaja continuamente.

Los instrumentos del tablero de medición y operación considerados apropiados se describen a continuación.

**1. Indicador digital de temperatura.** Para medir la temperatura de los compartimientos del refrigerador en prueba.

**2. Contador de tiempo.** Un contador por cada línea de energía se incluye en los instrumentos del tablero, con objeto de registrar el tiempo total de operación del compresor durante las pruebas, así como el tiempo transcurrido de la prueba.

**3. Transformador de voltaje variable.** El estándar AHAM HRF - 1, 1988 establece que el suministro de voltaje de alimentación del aparato bajo prueba debe ser 115 Volts +/- 1 Volts. Por su parte, la NOM J 411 - 1981 establece que el voltaje de alimentación del gabinete en prueba debe ser 127 Volts +/- 1 Volt. Considerando lo anterior, se debe instalar en el tablero un transformador por cada línea de energía, capaz de variar el voltaje en los contactos del interior del cuarto desde 0 a 130 VAC a 60 Hz.

**4. Voltímetro.** Para las mediciones de voltaje de alimentación de los gabinetes en prueba.

**5. Interruptores termomagnéticos.** Por cada una de las 10 líneas de energía, se instala un interruptor termomagnético, que es usado para energizar o desenergizar el refrigerador conectado a la línea de poder correspondiente en el interior del cuarto. Al abrir este interruptor desde el tablero, el refrigerador dejará de funcionar.

**6. Selector de termopares.** El selector de termopares se añade al tablero para leer en el indicador digital la temperatura del termopar de interés, proveniente desde los paneles de conexión de termopares, los cuales son instalados en el interior del cuarto. El selector de termopares es de 24 posiciones.

### **V.3 Especificaciones de los instrumentos de medición.**

Las especificaciones emitidas por A.H.A.M. en su estándar **HRF - 1, 1988** y adoptadas por **NOM J 411 - 1981** mencionan las siguientes características de los instrumentos de medición.

**Mediciones de temperatura.** Las mediciones de temperatura deberán ser efectuadas con termopares Tipo T (cobre - constantán). Las lecturas deberán tener una exactitud de  $\pm 1$  °C respecto a la lectura real, y una resolución de 0.1°C.

**Mediciones eléctricas.** Los instrumentos para las mediciones de voltaje deberán ser exactos dentro de un rango de  $\pm 0.5$  % respecto al valor medido.

**Mediciones de tiempo.** Las mediciones del tiempo de trabajo del refrigerador deberán efectuarse con un reloj eléctrico síncrono de arranque automático o cualquier otro integrador de tiempo similar.

### **V.4 Relación de instrumentos del tablero de medición.**

Una vez definidos los instrumentos y equipo auxiliar a emplear, a continuación se presenta la cantidad necesaria de cada uno de estos en la **Tabla 5.2.**

**TABLA 5.2**  
**Relación de Instrumentos**

<b>CANTIDAD REQUERIDA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
04	Indicadores digitales de temperatura.
04	Selectores de termopares.
10	Contadores de tiempo.
02	Voltímetros.
10	Interruptores termomagnéticos.
10	Transformadores de voltaje variable.
10	Luces piloto.

**V.5 Funcionamiento, medio de registro e instalación.**

En la ejecución de cualquier prueba térmica, los pasos a seguir para el manejo de los instrumentos y registro de datos, son los siguientes:

1. Energizar la línea de poder correspondiente mediante el interruptor termomagnético. La línea de poder es el receptáculo en el cual el refrigerador está conectado en el interior del cuarto.

2. Graduar el voltaje de operación del refrigerador, mediante el uso del transformador, y observar su valor en el voltímetro.

3. En el momento en que el compresor esté en operación, la luz piloto localizada en el tablero permanecerá encendida. A su vez, cuando el compresor del refrigerador esté en su período de descanso, la luz piloto estará apagada. Al mismo tiempo, el contador de tiempo funcionará cuando el compresor este operando.

4. Para la lectura de temperatura, posicionar en el selector el número del termopar conectado al panel de termopares. De este modo, la temperatura es leída en el indicador digital correspondiente.

#### **V.6 Diagramas de conexión de los instrumentos.**

Para la instalación y funcionamiento de los instrumentos del tablero, es necesario contar con los siguientes accesorios, que se indican en la **Tabla 5.3**.

**TABLA 5.3**  
**Relación de Accesorios**

<b>CANTIDAD REQUERIDA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
10	Receptáculos para conexión de los voltímetros y lectura del voltaje de alimentación de los refrigeradores en prueba.
10	Bases para focos piloto.
10	Relevadores encapsulados.
01	Fuente de poder 127 VAC / 24 VDC. Para alimentación de los relevadores.
02	Conectores para los voltímetros digitales.
01	Rollo de 1000 pies de termopar Tipo T, de 24 pares.

El **Plano 16** del **Apéndice A** muestra la conexión eléctrica de una línea típica de poder.

El **Plano 17** del **Apéndice A** muestra la conexión de los paneles y selector de termopares, indicador digital de temperatura y voltímetro.

**CAPÍTULO VI**  
**PRESUPUESTO DE MATERIALES Y EQUIPO**

En la realización del presupuesto de equipo, no se consideran costos de mano de obra. Por otro lado, el costo de los equipos fueron cotizados por distribuidores nacionales.

**I. Paneles y accesorios para construcción del cuarto.**

<b>Cant. Requerida</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario (NS)</b>	<b>Costo Total (NS)</b>
01	Paneles (Incluye paredes, techo y estructura).	38,500.00	38,500.00
10	Receptáculos de las líneas de prueba. Incluye base para su colocación en la charola.	20.00	200.00
16 mt.	Charola para tendido de los cables e instalación de los receptáculos.	132.00 / mt.	2,112.00
16 mt.	Cubierta de la charola.	76.00 / mt.	1,216.00
10	Cubierta de los receptáculos.	10.00	100.00
04	Paneles de conexión de termopares.	200.00	800.00
06	Luminarias.	40.00	240.00
	<b>TOTAL</b>		<b>43,168.00</b>

## 2. Sistema de calefacción y aire acondicionado.

Cant. Requerida	Descripción	Costo Unitario (NS)	Costo Total (NS)
01	Banco de resistencias. Incluye controles.	1,460.00	1,460.00
01	Compresor. Incluye condensador, ventilador para enfriamiento del condensador y controles de presión.	15,000.00	15,000.00
01	Manejadora de aire. Incluye evaporador y damper.	8,500.00	8,500.00
01	Válvula de expansión.	200.00	200.00
01	Acumulador de succión.	190.00	190.00
01	Mirilla.	50.00	50.00
02	Eliminadores de vibración.	66.00	132.00
01	Filtro deshidratador.	330.00	330.00
02	Manómetros.	40.00	80.00
07	Válvulas de bola.	85.00	595.00
	<b>TOTAL</b>		<b>26,537.00</b>

## 3. Sistema de control de temperatura.

Cant. Requerida	Descripción	Costo Unitario (NS)	Costo Total (NS)
02	Control de temperatura.	660.00	1,320.00
02	Sensores de temperatura.	300.00	600.00
01	Actuador de resistencias eléctricas.	6,600.00	6,600.00
01	Actuador de damper.	2,100.00	2,100.00
01	Juego de varillas de interconexión entre actuador y damper.	180.00	180.00
	<b>TOTAL</b>		<b>10,800.00</b>

#### 4. Tablero de medición y operación.

Cant. Requerida	Descripción	Costo Unitario (NS)	Costo Total (NS)
10	Interruptores termomagnéticos.	60.00	600.00
10	Variadores de voltaje.	630.00	6,300.00
10	Contadores de tiempo.	180.00	1,800.00
02	Voltímetros digitales.	810.00	1,620.00
10	Receptáculos.	66.00	660.00
04	Indicadores digitales de temperatura	900.00	3,600.00
04	Selectores de termopares.	645.00	2,580.00
10	Bases para foco piloto.	15.00	150.00
10	Relevadores.	270.00	2,700.00
01	Fuente de poder 127 VAC / 24 VDC	150.00	150.00
10	Sockets para relevadores	20.00	200.00
02	Conectores.	60.00	120.00
01	Rollo de 100 pies de termopar tipo T, de 24 pares.	4,000.00	4,000.00
	<b>TOTAL</b>		<b>24,480.00</b>

#### 5. Costo total.

Costo de paneles y accesorios para construcción del cuarto.	NS 43,168.00
Costo del sistema de calefacción y aire acondicionado.	NS 26,537.00
Costo del sistema de control de temperatura.	NS 10,800.00
Costo del tablero de medición y operación.	NS 24,480.00
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>NS 104,985.00</b>

## CONCLUSIONES

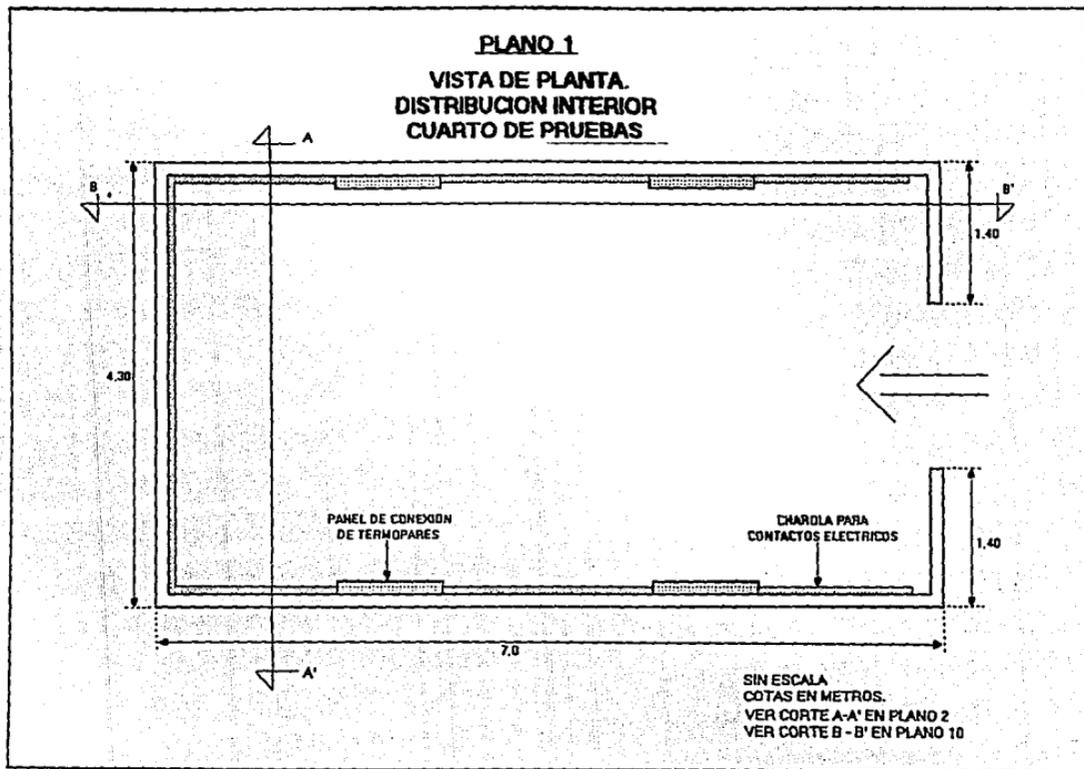
En este tiempo, en el que se está generando una fuerte competencia entre personas, instituciones e incluso entre naciones, donde la exigencia de la calidad en los productos es la base en cualquier rama productiva, es importante tomar en cuenta la acertada evaluación de un producto, ya que de este modo se permite determinar la calidad de su diseño y/o de su material.

El propósito del presente documento fue mostrar el panorama específico de los requisitos de funcionamiento de un cuarto de pruebas, propio para la evaluación térmica de refrigeradores y congeladores, así como de indicar los pasos a seguir para su diseño y la descripción del equipo e instrumentos que constituyen sus sistemas.

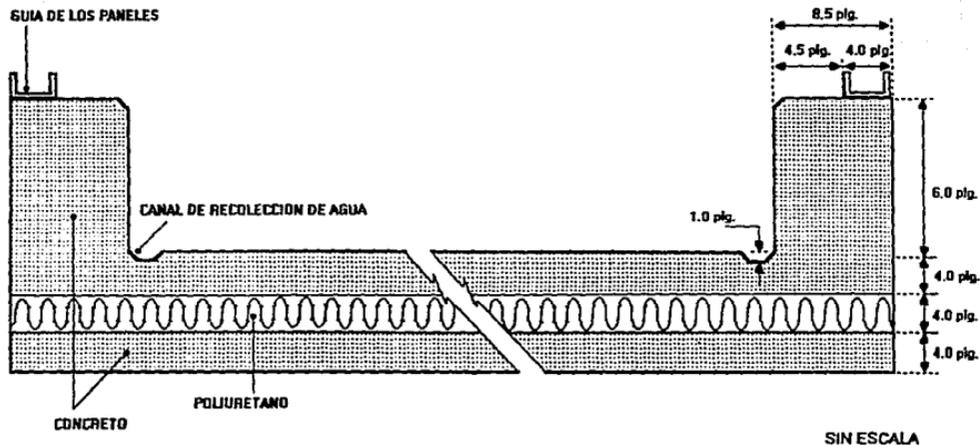
La descripción de los pasos de diseño dieron como resultado la justificación de la selección de materiales y equipo, que interactuando en el sistema correspondiente deben lograr el cumplimiento de los requisitos de funcionamiento. Estos requisitos adecuan al cuarto de pruebas para la ejecución de pruebas térmicas, según los métodos establecidos por **NOM J 411 - 1981** y **AHAM STD HRF - 1, 1988**.

# **APENDICE A**

## **PLANOS**

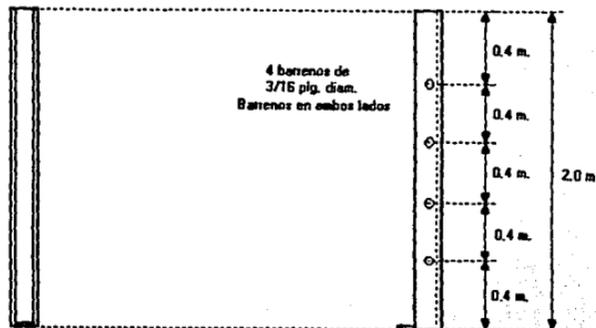


**PLANO 2**  
**DISEÑO DEL PISO Y BASE**  
**CORTE TRANSVERSAL A - A'**  
**DEL PLANO 1**



### PLANO 3

#### ESTRUCTURA DE LAS PAREDES LATERALES, TRASERA Y DELANTERA



Remate de  
1 7/8 plg. x 2 3/4 plg. x 1/8 plg.  
Barreno de 5/8 plg.

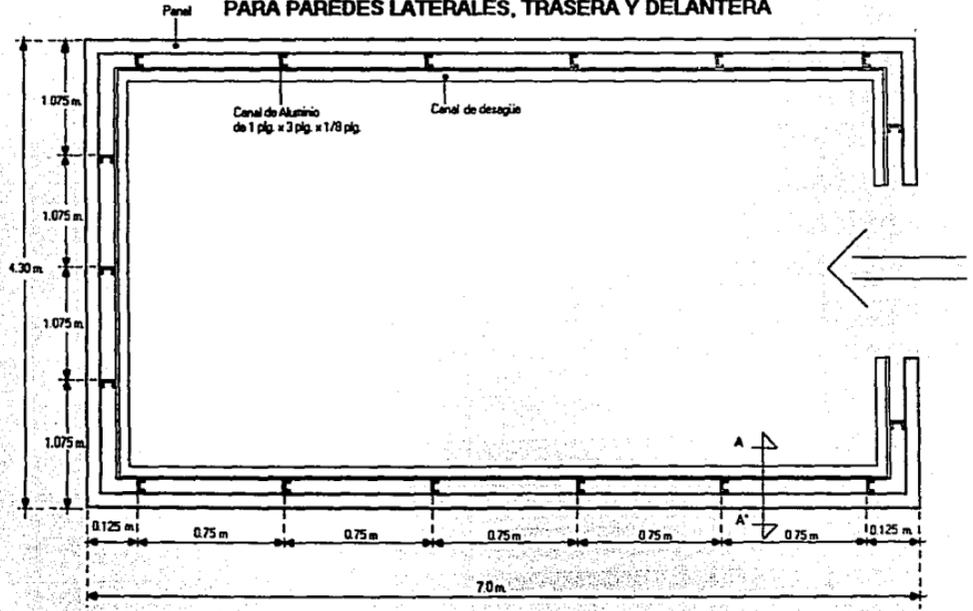


Material: Perfil de Aluminio Tipo C  
1.0 plg. x 3 plg. x 1/8 plg.

SIN ESCALA

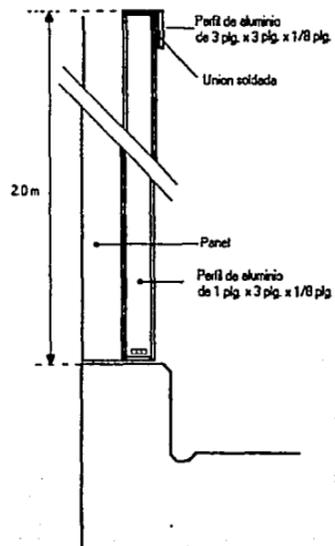
FALTA DE ORIGEN

**PLANO 4**  
**LOCALIZACION DE ESTRUCTURA**  
**PARA PAREDES LATERALES, TRASERA Y DELANTERA**



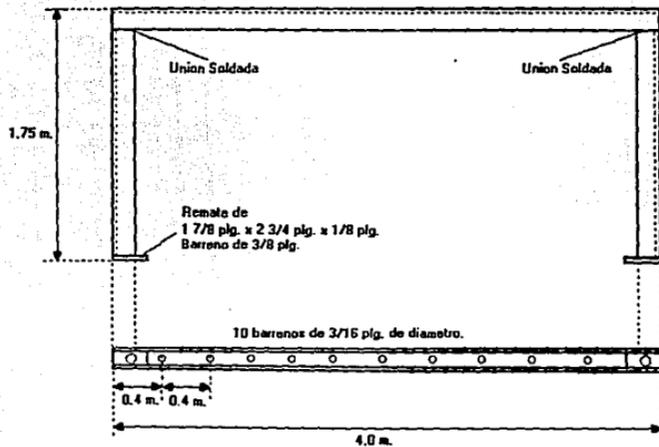
SIN ESCALA  
VER CORTE A - A' EN PLANO 4a

**PLANO 4a**  
**ESTRUCTURA DE PAREDES**  
**CORTE TRANSVERSAL A - A'**  
**DEL PLANO 4**



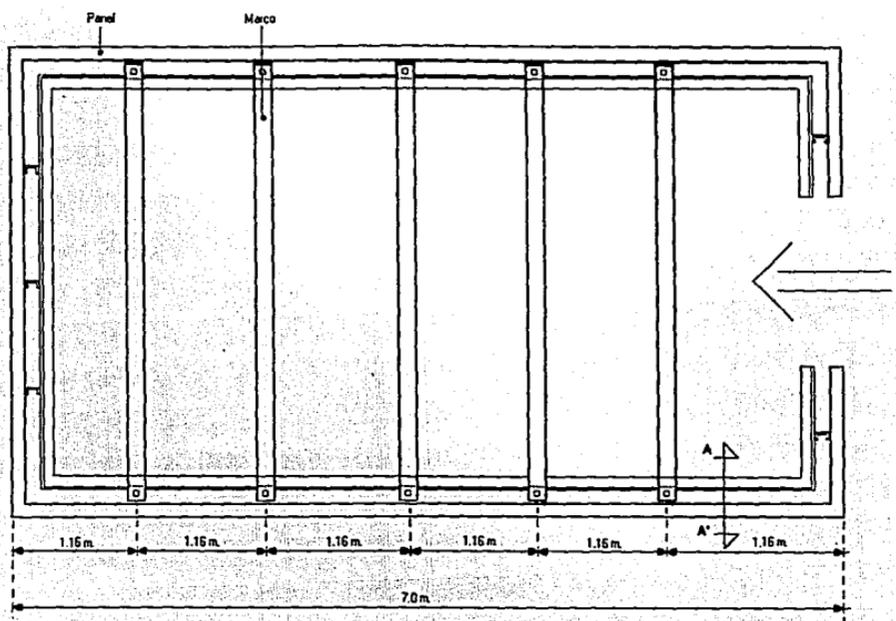
FALLA<sup>97</sup>  
DE ORIGEN

PLANO 5  
ESTRUCTURA DEL TECHO



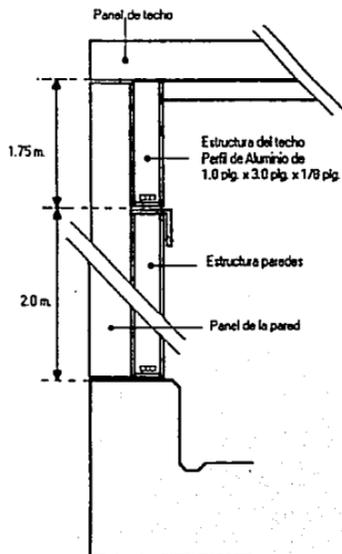
Material : Perfil de Aluminio Tipo C  
1.0 plg. x 3 plg. x 1/8 plg.  
SIN ESCALA

**PLANO 6**  
**LOCALIZACION DE MARCO PARA EL TECHO**



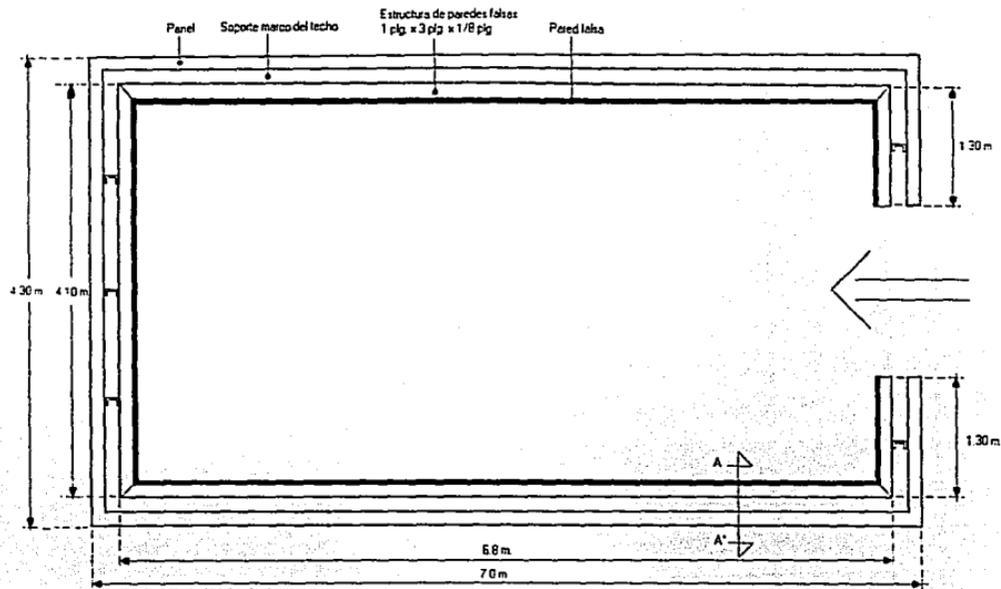
SIN ESCALA  
VER CORTE A - A' EN PLANO 6a

**PLANO 6a**  
**ESTRUCTURA DEL TECHO**  
**CORTE TRANSVERSAL A - A' DEL PLANO 6**



### PLAN 7

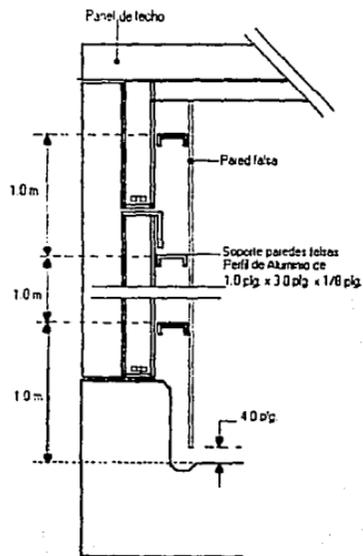
## LOCALIZACION DE ESTRUCTURA PARA PAREDES FALSAS



SIN ESCALA  
VER CORTE A - A' EN PLANO 7 a

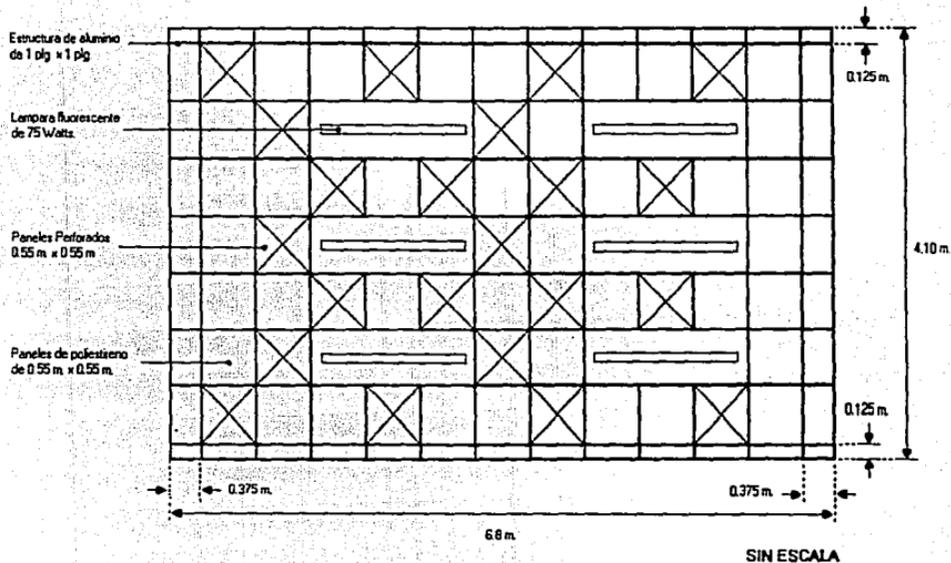
FALLA DE ORIGEN

**PLANO 7a**  
**SOPORTE PAREDES FALSAS**  
**CORTE TRANSVERSAL A - A' DEL PLANO 7**



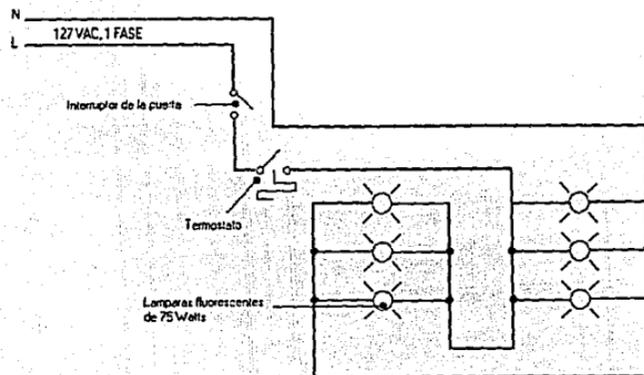
SIN ESCALA

**PLANO B**  
**FALSO PLAFON**

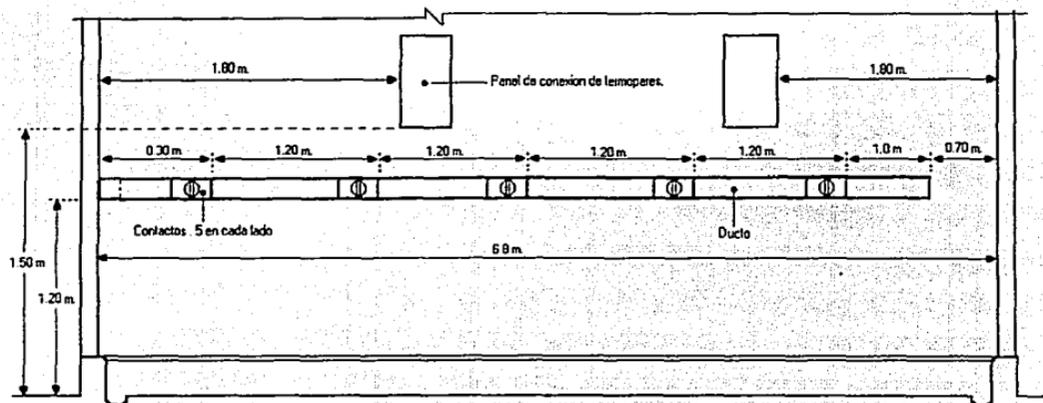


108 FALLA DE ORIGEN

PLANO 9  
CIRCUITO ELECTRICO  
DE LUMINARIAS



**PLANO 10**  
**LOCALIZACION DE DUCTO, CONTACTOS**  
**Y PANELES DE TERMOPARES.**  
**CORTE B - B' DEL PLANO 1**

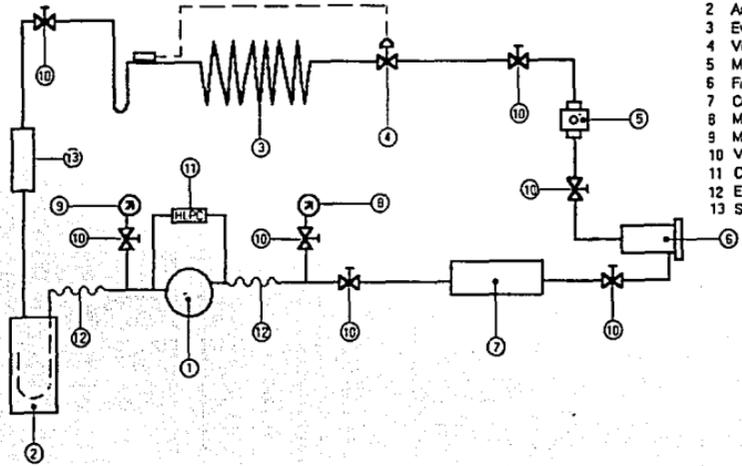


SIN ESCALA

104 FALLA DE ORIGEN

**PLANO 11**

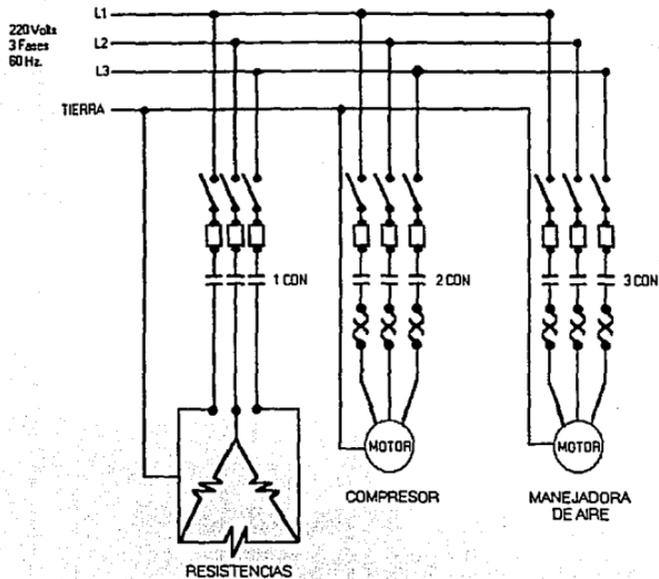
**DIAGRAMA DE INSTALACION  
UNIDAD CONDENSADORA**



- 1 Compresor
- 2 Acumulador
- 3 Evaporador de la Menajedora de Aire
- 4 Valvula de Expansi3n
- 5 Mirilla
- 6 Filtro Desecante
- 7 Condensador
- 8 Manometro de Alta
- 9 Manometro de Baja
- 10 Valvula de Bola
- 11 Control de Alta y Baja Presi3n
- 12 Eliminador de Vibraci3n
- 13 Separador de Aceite

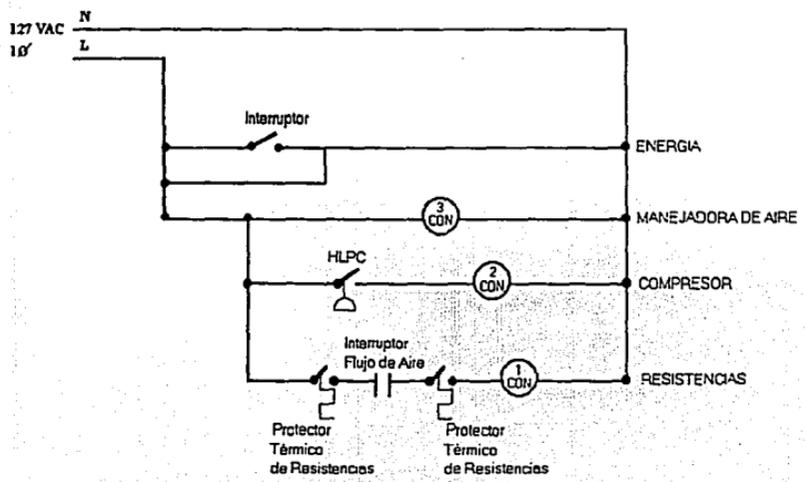
10<sup>1</sup>FALLA DE ORIGEN

**PLANO 12**  
**DIAGRAMA ELECTRICO DE**  
**RESISTENCIAS, COMPRESOR Y MANEJADORA**



106 FALLA DE ORIGEN

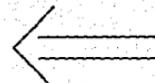
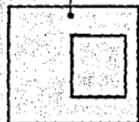
**PLANO 13**  
**DIAGRAMA ELECTRICO DE CONTROLES**  
**DE COMPRESOR, MANEJADORA DE AIRE Y RESISTENCIAS**



107 FALLA DE ORIGEN

**PLANO 14**  
**VISTA DE PLANTA**  
**LOCALIZACION DE MANEJADORA DE AIRE**

Manejadora de aire

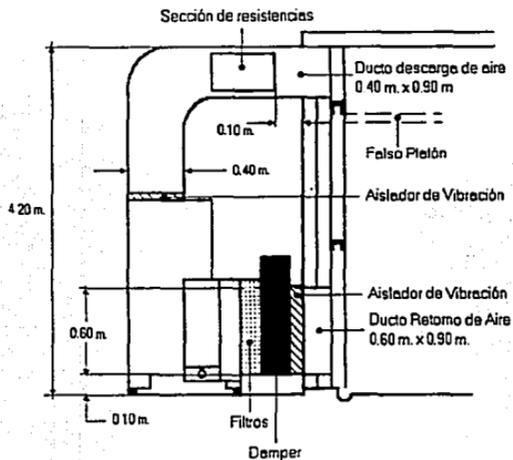


SIN ESCALA  
VER CORTE A-A' EN PLANO 14a

108

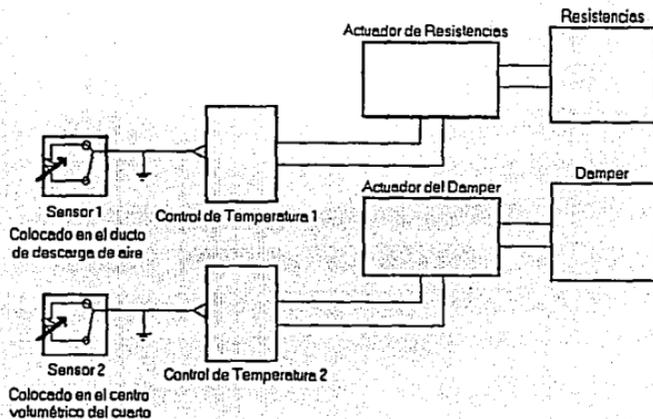
FALLA DE ORIGEN

**PLANO 14a**  
**DETALLE MANEJADORA DE AIRE**  
**CORTE TRANSVERSAL A-A' PLANO 14**

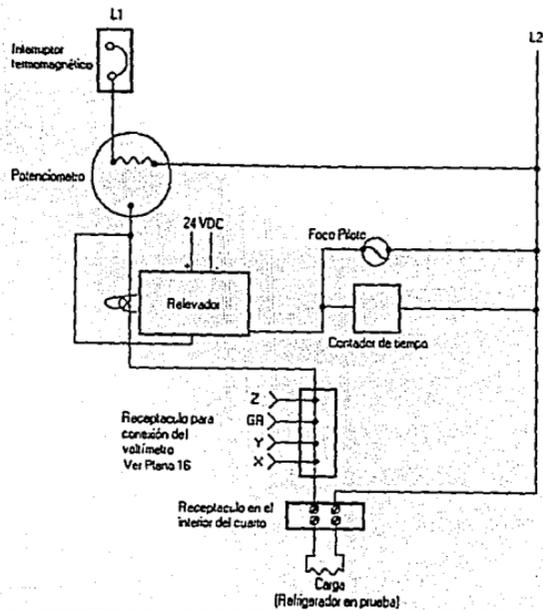


PLANO 15

**SISTEMA DE CONTROL**



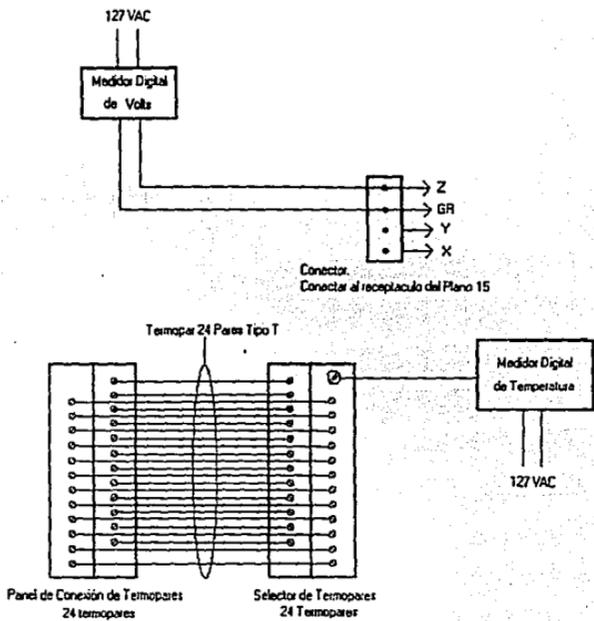
**PLANO 16**  
**TABLERO DE MEDICION Y OPERACION**  
**LINEA TIPICA DE ENERGIA**



III  
**FALLA DE ORIGEN**

PLANO 17

**TABLERO DE MEDICION Y OPERACION  
MEDIDORES DIGITALES**



112 FALLA DE ORIGEN

# **APENDICE B**

## **TABLAS**

**TABLA I**  
**Coefficientes de Conductividad Térmica de Diversos Materiales**

<b>MATERIAL</b>	<b>CONDUCTIVIDAD TÉRMICA [(BTU) (plg) / (hr)(pie<sup>2</sup>)(°F)]</b>
<b>BLOQUES DE CONSTRUCCIÓN.</b>	
Asbestos - Bloques de cemento.	4.0
Madera laminada.	0.80
Fibra de madera y madera dura.	0.73
<b>MATERIALES AISLANTES.</b>	
Sabana de fibra de vidrio.	0.32
Poliuretano expandido R11.	0.16
Poliestireno expandido.	0.16
Lana mineral rellena suelta.	0.40
Perlita expandida.	0.36
Celulosa, papel.	0.30
<b>MATERIALES DE MAMPOSTERIA.</b>	
Concreto, arena, grava.	9.0
Ladrillo común.	5.0
Ladrillo fachada.	9.0
<b>LATERALES.</b>	
Arcé, roble, madera dura.	1.10
Abeto pino, madera blanda.	0.80

**TABLA 2**  
**Factores de Utilización**

EQUIPO	K	rc			0.7			0.5			0.3	
		rp	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1		
Lampara	0.6		0.31	0.25	0.20	0.28	0.22	0.18		0.20	0.16	
fluorescente de	0.8		0.37	0.31	0.26	0.33	0.28	0.23		0.25	0.21	
75 W, arranque	1.0		0.45	0.39	0.34	0.40	0.35	0.31		0.31	0.28	
rápido, color frío.	33	1.25	0.50	0.44	0.39	0.45	0.40	0.36		0.36	0.32	
		1.5	0.54	0.48	0.44	0.48	0.44	0.40		0.39	0.36	
	93	2.0	0.60	0.55	0.50	0.54	0.50	0.46		0.44	0.41	
		2.5	0.63	0.59	0.55	0.57	0.53	0.50		0.48	0.45	
	60	3.0	0.66	0.62	0.59	0.60	0.56	0.53		0.51	0.48	
		4.0	0.70	0.66	0.63	0.63	0.60	0.58		0.54	0.52	
		5.0	0.72	0.69	0.66	0.65	0.63	0.61		0.57	0.55	

rc = reflexión cielo.  
rp = reflexión paredes.

**TABLA 3**  
**Niveles de Iluminación para Diversas Tareas**

<b>NIVEL DE ILUMINACIÓN (LUX)</b>	<b>ÁREAS O ACTIVIDADES (Tareas Visuales)</b>
20	Iluminación mínima, en zonas exteriores de circulación.
30	Bodegas exteriores y patios de almacenamiento.
50	Pasillos exteriores, plataformas, estacionamientos cerrados.
75	Diques, muelles.
100	Teatros, salas de concierto, dormitorios de hoteles, baños.
150	Zonas de circulación en industrias, depósitos y almacenes.
200	Iluminación general mínima de áreas de trabajo interiores.
300	Trabajos medios manuales. Trabajos normales en la industria química y alimentación. Archivos.
500	Trabajos medios manuales y a máquina, montaje de automóviles, naves de imprenta, oficinas en general, almacenes y tiendas.
750	Salas de lectura, de pruebas, salas de dibujo y oficinas con máquinas de contabilidad.
1000 **	Trabajos finos manuales y a máquina, montaje de máquinas para oficinas, trabajos con colores, salas donde se realicen trabajos muy precisos.
1500 **	Trabajos muy finos, manuales y montaje de instrumentos y pequeños mecanismos de precisión, componentes electrónicos, calibración e inspección de piezas pequeñas y complicadas.
2000 **	Trabajos minuciosos y muy precisos, por ejemplo partes muy pequeños de instrumentos, relojería y grabado, salas de operación en quirófano.

\*\* Estos niveles pueden lograrse con alumbrado general más localizado.

**TABLA 4**  
**Ganancia de Calor por Personas**

<b>GRADO DE ACTIVIDAD</b>	<b>APLICACIÓN TÍPICA</b>	<b>CALOR TOTAL ( BTU / Hr )</b>
Sentadas, trabajo liviano.	Oficina, hotel, apartamento salón de clases, escuela secundaria.	400
Trabajo de oficina moderadamente activo.	Oficina, hotel, apartamento, salón de clases, universidad.	450
De pie, trabajo liviano, caminando lentamente.	Droguería, banco.	500
Trabajo sedentario.	Restaurante.	550
Trabajo de banco liviano.	Factoría.	750
Baile moderado.	Pista de baile.	850
Caminando a 3 mph; trabajo moderadamente pesado.	Factoría.	1000
Trabajo pesado.	Factoría.	1450

**TABLA 5**  
**Promedio de Cambios de Aire en 24 Horas**  
**Para Camaras de Almacenamiento Debido a la**  
**Apertura de Puertas e Infiltración.**

<b>VOLUMEN (Pies<sup>3</sup>)</b>	<b>ARRIBA DE 32 °F</b>	<b>ABAJO DE 32 °F</b>	<b>VOLUMEN (Pies<sup>3</sup>)</b>	<b>ARRIBA DE 32 °F</b>	<b>ABAJO DE 32 °F</b>
200	44.0	35.5	6,000	6.5	5.0
300	34.5	26.2	8,000	5.5	4.3
400	29.5	22.5	10,000	4.9	3.8
500	26.0	20.0	15,000	3.9	3.0
600	23.0	18.0	20,000	3.5	2.6
800	20.0	15.3	25,000	3.0	2.3
1000	17.5	13.5	30,000	2.7	2.1
1500	14.0	11.0	40,000	2.3	1.8
2000	12.0	9.3	50,000	2.0	1.6
3000	9.5	7.4	75,000	1.6	1.3
4000	8.2	6.3	100,000	1.4	1.1
5000	7.2	5.6			

**TABLA 6**  
**Calor Removido en Aire de Enfriamiento a las**  
**Condiciones de Cámaras de Almacenamiento**  
**(BTU / Pie<sup>3</sup>)**

<b>TEMPERATURA DE LA CÁMARA DE ALMACENAMIENTO (°F)</b>	<b>TEMPERATURA DEL AIRE EXTERIOR (80 °F)</b>	<b>TEMPERATURA DEL AIRE EXTERIOR (90 °F)</b>	<b>TEMPERATURA DEL AIRE EXTERIOR (100 °F)</b>
65	0.45	0.68	1.21
60	0.66	0.89	1.42
55	0.85	1.08	1.61
50	1.03	1.26	1.79
45	1.19	1.43	1.95
40	1.35	1.59	2.11
35	1.50	1.74	2.26
30	1.64	1.88	2.40

**TABLA 7**  
**Propiedades de Líquido y Vapor Saturados de R 22**

REFRIGERANTE 22

**TABLA 7 - PROPIEDADES DEL LIQUIDO Y VAPOR SATURADOS**

TEMP F	PRESION lb por pulq <sup>2</sup>		VOLUMEN pie <sup>3</sup> por lb		DENSIDAD lb por pie <sup>3</sup>		ENTALPIA** Btu por lb		ENTROPIA** Btu por (lb)(°R)		TEMP t	
	Absoluta P	Manométrica P	Líquido v <sub>l</sub>	Vapor v <sub>g</sub>	Líquido h <sub>l</sub>	Vapor h <sub>g</sub>	Líquido h <sub>f</sub>	Vapor h <sub>g</sub>	Líquido s <sub>f</sub>	Vapor s <sub>g</sub>		
-50	11.674	6.154*	0.01225	4.2274	88.904	0.2683	-2.511	101.656	99.144	-0.06604	0.24209	-50
-49	11.996	6.489*	0.01248	4.1166	88.905	24922	-2.267	101.519	99.257	0.0543	0.24176	-49
-48	12.324	6.839*	0.01261	4.0140	88.806	24913	-2.012	101.381	99.369	0.0483	0.24143	-48
-47	12.660	7.194*	0.01273	3.9145	88.707	25466	-1.767	101.243	99.480	0.0422	0.24110	-47
-46	13.004	7.555*	0.01286	3.8179	88.607	26192	-1.511	101.103	99.592	0.0361	0.24078	-46
-45	13.354	7.922*	0.01298	3.7243	88.507	0.26451	-1.260	100.963	99.703	-0.02010	0.24046	-45
-44	13.712	8.297*	0.01311	3.6334	88.407	27523	-1.009	100.823	99.814	0.02411	0.24014	-44
-43	14.078	8.678*	0.01324	3.5452	88.307	28207	-0.757	100.683	99.925	0.01811	0.23982	-43
-42	14.451	9.064*	0.01337	3.4596	88.207	28905	-0.505	100.541	100.036	0.01210	0.23951	-42
-41	14.833	9.455*	0.01350	3.3764	88.107	29617	-0.253	100.399	100.147	0.00610	0.23919	-41
-40	15.222	9.852	0.01363	3.2957	88.006	0.30342	0.000	100.257	100.257	0.00000	0.23888	-40
-39	15.619	10.256	0.01376	3.2173	87.905	31082	0.253	100.114	100.367	0.00600	0.23856	-39
-38	16.024	10.668	0.01389	3.1412	87.805	31857	0.506	99.971	100.477	0.01200	0.23824	-38
-37	16.437	11.087	0.01402	3.0673	87.703	32602	0.760	99.826	100.587	0.01800	0.23792	-37
-36	16.859	11.513	0.01415	2.9954	87.602	33384	1.014	99.682	100.696	0.02400	0.23760	-36
-35	17.290	11.946	0.01428	2.9256	87.501	0.34181	1.269	99.536	100.805	0.03000	0.23727	-35
-34	17.728	12.387	0.01442	2.8578	87.399	34992	1.524	99.391	100.914	0.03599	0.23704	-34
-33	18.176	12.834	0.01455	2.7919	87.297	35818	1.779	99.244	101.023	0.04199	0.23681	-33
-32	18.633	13.287	0.01469	2.7278	87.195	36660	2.035	99.097	101.132	0.04799	0.23659	-32
-31	19.099	13.746	0.01482	2.6655	87.093	37517	2.291	98.949	101.240	0.05399	0.23636	-31
-30	19.573	14.211	0.01495	2.6049	86.991	0.38389	2.547	98.801	101.348	0.05999	0.23613	-30
-29	20.056	14.682	0.01509	2.5460	86.888	39278	2.804	98.652	101.456	0.06599	0.23590	-29
-28	20.549	15.159	0.01523	2.4887	86.785	40187	3.061	98.503	101.564	0.07199	0.23567	-28
-27	21.052	15.642	0.01537	2.4329	86.682	41103	3.318	98.354	101.671	0.07799	0.23544	-27
-26	21.564	16.131	0.01550	2.3787	86.579	42040	3.576	98.205	101.778	0.08399	0.23521	-26
-25	22.086	16.626	0.01564	2.3260	86.476	0.42992	3.834	98.056	101.885	0.08999	0.23498	-25
-24	22.617	17.127	0.01578	2.2746	86.373	43964	4.092	97.907	101.992	0.09599	0.23475	-24
-23	23.159	17.634	0.01592	2.2246	86.269	44931	4.352	97.756	102.098	0.10199	0.23452	-23
-22	23.711	18.147	0.01606	2.1760	86.166	45936	4.611	97.605	102.204	0.10799	0.23429	-22
-21	24.272	18.666	0.01620	2.1287	86.063	46978	4.871	97.453	102.310	0.11399	0.23406	-21
-20	24.845	19.191	0.01634	2.0826	85.959	48058	5.131	97.302	102.415	0.01199	0.23383	-20
-19	25.427	19.722	0.01648	2.0377	85.856	49175	5.391	97.150	102.521	0.01799	0.23360	-19
-18	26.019	20.259	0.01662	1.9940	85.752	50330	5.652	97.000	102.626	0.02399	0.23337	-18
-17	26.624	20.802	0.01677	1.9514	85.647	51523	5.913	96.848	102.731	0.02999	0.23314	-17
-16	27.239	21.351	0.01691	1.9099	85.543	52755	6.175	96.696	102.836	0.03599	0.23291	-16
-15	27.865	21.906	0.01705	1.8695	85.438	54028	6.438	96.544	102.941	0.04199	0.23268	-15
-14	28.501	22.468	0.01720	1.8302	85.332	55342	6.702	96.392	103.046	0.04799	0.23245	-14
-13	29.149	23.037	0.01734	1.7918	85.226	56697	6.966	96.240	103.151	0.05399	0.23222	-13
-12	29.809	23.613	0.01749	1.7544	85.119	58095	7.231	96.088	103.256	0.05999	0.23199	-12
-11	30.480	24.196	0.01764	1.7180	85.012	59527	7.498	95.936	103.361	0.06599	0.23176	-11
-10	31.163	24.786	0.01779	1.6825	84.904	61003	7.757	95.784	103.466	0.07199	0.23153	-10
-9	31.858	25.383	0.01793	1.6479	84.795	62523	8.015	95.632	103.571	0.07799	0.23130	-9
-8	32.565	25.987	0.01808	1.6141	84.686	64086	8.274	95.480	103.676	0.08399	0.23107	-8
-7	33.284	26.598	0.01823	1.5812	84.576	65692	8.545	95.328	103.781	0.08999	0.23084	-7
-6	34.015	27.215	0.01838	1.5491	84.467	67341	8.810	95.176	103.886	0.09599	0.23061	-6
-5	34.758	27.838	0.01852	1.5177	84.357	69033	9.075	95.024	103.991	0.10199	0.23038	-5
-4	35.514	28.467	0.01867	1.4872	84.246	70768	9.341	94.872	104.096	0.10799	0.23015	-4
-3	36.272	29.101	0.01881	1.4574	84.135	72546	9.608	94.720	104.201	0.11399	0.22992	-3
-2	37.042	29.741	0.01896	1.4283	84.024	74367	9.876	94.568	104.306	0.11999	0.22969	-2
-1	37.823	30.387	0.01910	1.4000	83.913	76231	10.142	94.416	104.411	0.12599	0.22946	-1
0	38.615	31.039	0.01925	1.3723	83.802	78138	10.409	94.264	104.516	0.13199	0.22923	0
1	39.418	31.697	0.01940	1.3453	83.691	80088	10.677	94.112	104.621	0.13799	0.22900	1
2	40.232	32.361	0.01955	1.3189	83.580	82080	10.945	93.960	104.726	0.14399	0.22877	2
3	41.057	33.031	0.01970	1.2931	83.469	84114	11.214	93.808	104.831	0.14999	0.22854	3
4	41.893	33.707	0.01985	1.2679	83.358	86190	11.483	93.656	104.936	0.15599	0.22831	4
5	42.740	34.389	0.01999	1.2434	83.247	88308	11.752	93.504	105.041	0.16199	0.22808	5
6	43.598	35.077	0.02014	1.2194	83.136	90468	12.022	93.352	105.146	0.16799	0.22785	6
7	44.467	35.771	0.02029	1.1959	83.025	92669	12.292	93.200	105.251	0.17399	0.22762	7
8	45.347	36.471	0.02044	1.1729	82.914	94911	12.562	93.048	105.356	0.17999	0.22739	8
9	46.238	37.176	0.02059	1.1504	82.803	97194	12.833	92.896	105.461	0.18599	0.22716	9
10	47.140	37.886	0.02074	1.1284	82.692	99518	13.104	92.744	105.566	0.19199	0.22693	10
11	48.053	38.601	0.02089	1.1069	82.581	101883	13.375	92.592	105.671	0.19799	0.22670	11
12	48.977	39.321	0.02104	1.0859	82.470	104289	13.646	92.440	105.776	0.20399	0.22647	12
13	49.912	40.046	0.02119	1.0654	82.359	106736	13.917	92.288	105.881	0.20999	0.22624	13
14	50.858	40.776	0.02134	1.0454	82.248	109224	14.188	92.136	105.986	0.21599	0.22601	14
15	51.815	41.511	0.02149	1.0259	82.137	111753	14.459	91.984	106.091	0.22199	0.22578	15

\* Propiedades de mezcla de vapor de agua y refrigerante.

120 FALLA DE ORIGEN

**TABLA 7**  
**Propiedades de Líquido y Vapor Saturados de R 22**

**TABLA 7. PROPIEDADES DEL LIQUIDO Y VAPOR SATURADOS (continuación)**

TEMP F	PRESION		VOLUMEN		DENSIDAD		ENTALPIA**			ENTROPIA**		TEMP F
	lb per in <sup>2</sup>		ft <sup>3</sup> per lb		lb per ft <sup>3</sup>		Btu per ft <sup>3</sup>			Btu per (lbm-R)		
	Aboluta P	Gage P	Líquido v <sub>l</sub>	Vapor v <sub>g</sub>	Líquido ρ <sub>l</sub>	Vapor ρ <sub>g</sub>	Líquido h <sub>f</sub>	Líquido h <sub>fg</sub>	Vapor h <sub>g</sub>	Líquido s <sub>f</sub>	Vapor s <sub>g</sub>	
15	52.405	37.709	0.012171	1.0272	82.164	0.97332	14.486	91.451	105.917	0.03218	0.22463	15
16	53.438	38.742	0.012188	1.0082	82.051	0.98188	14.739	91.272	106.011	0.03275	0.22472	16
17	54.467	39.791	0.012204	0.98981	81.938	0.99103	15.013	91.091	106.105	0.03332	0.22482	17
18	55.501	40.855	0.012221	0.97144	81.825	1.00094	15.288	90.910	106.198	0.03389	0.22491	18
19	56.631	41.935	0.012238	0.95368	81.711	1.00866	15.569	90.728	106.290	0.03446	0.22500	19
20	57.727	43.031	0.012255	0.93631	81.597	1.01680	15.837	90.545	106.383	0.03503	0.22509	20
21	58.839	44.143	0.012272	0.91932	81.483	1.02678	16.113	90.362	106.475	0.03560	0.22518	21
22	59.967	45.271	0.012289	0.90268	81.368	1.03708	16.389	90.178	106.566	0.03617	0.22527	22
23	61.111	46.415	0.012307	0.88643	81.253	1.04781	16.665	89.993	106.657	0.03674	0.22536	23
24	62.272	47.576	0.012325	0.87055	81.138	1.05887	16.942	89.807	106.748	0.03732	0.22545	24
25	63.450	48.754	0.012342	0.85500	81.023	1.06986	17.219	89.620	106.839	0.03789	0.22554	25
26	64.644	49.948	0.012359	0.83978	80.907	1.08080	17.496	89.433	106.928	0.03846	0.22563	26
27	65.855	51.159	0.012376	0.82488	80.791	1.09169	17.774	89.244	107.017	0.03903	0.22572	27
28	67.083	52.387	0.012393	0.81029	80.675	1.10254	18.052	89.055	107.107	0.03959	0.22581	28
29	68.328	53.632	0.012411	0.79604	80.558	1.11326	18.330	88.865	107.196	0.04015	0.22590	29
30	69.591	54.895	0.012428	0.78208	80.441	1.12386	18.609	88.674	107.284	0.04070	0.22599	30
31	70.873	56.175	0.012445	0.76842	80.324	1.13434	18.889	88.483	107.372	0.04125	0.22608	31
32	72.169	57.473	0.012462	0.75503	80.207	1.14470	19.168	88.290	107.459	0.04180	0.22617	32
33	73.485	58.789	0.012479	0.74184	80.089	1.15494	19.449	88.097	107.546	0.04235	0.22626	33
34	74.818	60.122	0.012495	0.72891	79.971	1.16515	19.729	87.903	107.632	0.04290	0.22635	34
35	76.170	61.474	0.012512	0.71633	79.852	1.17524	20.010	87.708	107.717	0.04345	0.22644	35
36	77.540	62.844	0.012528	0.70409	79.733	1.18521	20.292	87.512	107.801	0.04400	0.22653	36
37	78.928	64.231	0.012544	0.69217	79.614	1.19506	20.574	87.316	107.884	0.04454	0.22662	37
38	80.336	65.635	0.012559	0.68054	79.495	1.20479	20.856	87.119	107.966	0.04508	0.22671	38
39	81.761	67.065	0.012574	0.66921	79.375	1.21440	21.138	86.920	108.048	0.04562	0.22680	39
40	83.206	68.519	0.012589	0.65817	79.255	1.22389	21.422	86.720	108.129	0.04615	0.22689	40
41	84.671	69.997	0.012603	0.64742	79.134	1.23326	21.707	86.519	108.209	0.04668	0.22698	41
42	86.153	71.497	0.012617	0.63695	79.013	1.24251	21.992	86.317	108.288	0.04720	0.22707	42
43	87.655	72.959	0.012631	0.62674	78.892	1.25164	22.277	86.114	108.366	0.04772	0.22716	43
44	89.177	74.481	0.012644	0.61678	78.770	1.26065	22.562	85.910	108.443	0.04824	0.22725	44
45	90.719	76.023	0.012657	0.60705	78.648	1.26954	22.847	85.705	108.519	0.04875	0.22734	45
46	92.280	77.584	0.012670	0.59754	78.526	1.27831	23.132	85.500	108.594	0.04925	0.22743	46
47	93.861	79.165	0.012682	0.58824	78.404	1.28696	23.417	85.294	108.668	0.04974	0.22752	47
48	95.463	80.767	0.012694	0.57914	78.282	1.29549	23.702	85.088	108.741	0.05023	0.22761	48
49	97.085	82.389	0.012705	0.57024	78.159	1.30390	23.987	84.881	108.813	0.05071	0.22770	49
50	98.727	84.031	0.012716	0.56154	78.037	1.31219	24.272	84.674	108.884	0.05118	0.22779	50
51	100.390	85.693	0.012727	0.55304	77.914	1.32036	24.557	84.467	108.954	0.05164	0.22788	51
52	102.073	87.375	0.012737	0.54474	77.791	1.32841	24.842	84.259	109.023	0.05209	0.22797	52
53	103.776	89.077	0.012747	0.53664	77.668	1.33634	25.127	84.051	109.091	0.05253	0.22806	53
54	105.500	90.800	0.012756	0.52874	77.545	1.34415	25.412	83.842	109.158	0.05296	0.22815	54
55	107.245	92.554	0.012765	0.52104	77.422	1.35184	25.697	83.633	109.224	0.05338	0.22824	55
56	109.011	94.329	0.012774	0.51354	77.299	1.35941	25.982	83.424	109.289	0.05379	0.22833	56
57	110.797	96.125	0.012782	0.50624	77.176	1.36686	26.267	83.214	109.353	0.05419	0.22842	57
58	112.603	97.942	0.012790	0.49914	77.053	1.37419	26.552	83.004	109.416	0.05458	0.22851	58
59	114.429	99.780	0.012798	0.49224	76.930	1.38140	26.837	82.794	109.478	0.05496	0.22860	59
60	116.275	101.639	0.012805	0.48554	76.807	1.38849	27.122	82.584	109.539	0.05533	0.22869	60
61	118.141	103.519	0.012812	0.47904	76.684	1.39546	27.407	82.374	109.599	0.05569	0.22878	61
62	120.027	105.420	0.012819	0.47274	76.561	1.40231	27.692	82.164	109.658	0.05604	0.22887	62
63	121.933	107.342	0.012825	0.46664	76.438	1.40904	27.977	81.954	109.716	0.05638	0.22896	63
64	123.859	109.285	0.012831	0.46074	76.315	1.41565	28.262	81.744	109.773	0.05671	0.22905	64
65	125.803	111.249	0.012837	0.45504	76.192	1.42214	28.547	81.534	109.829	0.05703	0.22914	65
66	127.767	113.234	0.012842	0.44954	76.069	1.42851	28.832	81.324	109.884	0.05734	0.22923	66
67	129.751	115.239	0.012847	0.44424	75.946	1.43476	29.117	81.114	109.938	0.05764	0.22932	67
68	131.755	117.264	0.012851	0.43914	75.823	1.44089	29.402	80.904	109.991	0.05793	0.22941	68
69	133.779	119.309	0.012855	0.43424	75.700	1.44690	29.687	80.694	110.043	0.05821	0.22950	69
70	135.823	121.374	0.012858	0.42954	75.577	1.45279	29.972	80.484	110.094	0.05848	0.22959	70
71	137.887	123.459	0.012861	0.42504	75.454	1.45856	30.257	80.274	110.144	0.05874	0.22968	71
72	140.000	125.564	0.012863	0.42074	75.331	1.46421	30.542	80.064	110.193	0.05900	0.22977	72
73	142.172	127.689	0.012865	0.41664	75.208	1.46974	30.827	79.854	110.241	0.05925	0.22986	73
74	144.414	129.834	0.012866	0.41274	75.085	1.47515	31.112	79.644	110.288	0.05949	0.22995	74
75	146.727	132.000	0.012867	0.40904	74.962	1.48044	31.397	79.434	110.334	0.05972	0.23004	75
76	149.111	134.287	0.012867	0.40554	74.839	1.48561	31.682	79.224	110.379	0.05994	0.23013	76
77	151.566	136.694	0.012866	0.40224	74.716	1.49066	31.967	79.014	110.423	0.06015	0.23022	77
78	154.092	139.221	0.012864	0.39914	74.593	1.49559	32.252	78.804	110.466	0.06035	0.23031	78
79	156.689	141.868	0.012861	0.39624	74.470	1.50040	32.537	78.594	110.508	0.06054	0.23040	79

## TABLA 7 Propiedades de Líquido y Vapor Saturados de R 22

TABLA 7... PROPIEDADES DEL LIQUIDO Y VAPOR SATURADOS (continuación)

TEMP t	PRESION lb por pulq <sup>2</sup>		VOLÜMEN pe <sup>3</sup> por lb		DENSIDAD lb por pe <sup>3</sup>		ENTALPIA** Btu por lb			ENTROPIA** Btu por lb-deg <sup>F</sup>			TEMP t
	Absoluta P	Manométrica P	Líquido v <sub>f</sub>	Vapor v <sub>g</sub>	Líquido 1/v <sub>f</sub>	Vapor 1/v <sub>g</sub>	Líquido h <sub>f</sub>	Latente h <sub>fg</sub>	Vapor h <sub>g</sub>	Líquido s <sub>f</sub>	Vapor s <sub>g</sub>	s	
80	156.33	143.63	0.013092	0.34621	74.116	2.8885	33.109	71.943	111.053	0.06846	0.21288	80	
81	160.88	148.99	0.013158	0.34099	73.978	2.9226	33.412	71.701	111.112	0.06901	0.21271	81	
82	165.07	154.37	0.013243	0.33587	73.839	2.9574	33.714	71.457	111.171	0.06956	0.21255	82	
83	168.88	159.78	0.013349	0.33083	73.700	3.0027	34.018	71.212	111.230	0.07011	0.21238	83	
84	172.32	165.22	0.013474	0.32588	73.560	3.0686	34.322	70.966	111.288	0.07065	0.21222	84	
85	175.38	170.68	0.013620	0.32101	73.420	3.1131	34.626	70.719	111.345	0.07120	0.21205	85	
86	178.07	176.17	0.013787	0.31623	73.278	3.1672	34.931	70.470	111.401	0.07175	0.21188	86	
87	180.50	181.69	0.013977	0.31153	73.137	3.2100	35.237	70.220	111.457	0.07230	0.21172	87	
88	182.68	187.23	0.014190	0.30690	72.994	3.2583	35.543	70.968	111.512	0.07285	0.21155	88	
89	184.50	192.80	0.014427	0.30236	72.851	3.3073	35.850	70.716	111.566	0.07339	0.21139	89	
90	185.99	198.40	0.014688	0.29793	72.708	3.3570	36.158	70.461	111.619	0.07394	0.21122	90	
91	187.17	204.03	0.014974	0.29361	72.564	3.4073	36.466	70.206	111.671	0.07449	0.21106	91	
92	188.07	209.70	0.015285	0.28939	72.419	3.4582	36.774	70.949	111.723	0.07504	0.21089	92	
93	188.71	215.41	0.015621	0.28526	72.273	3.5098	37.084	70.690	111.774	0.07559	0.21073	93	
94	189.10	221.16	0.016004	0.28121	72.127	3.5621	37.394	70.430	111.824	0.07613	0.21056	94	
95	189.26	227.00	0.016435	0.27725	71.980	3.6151	37.704	70.168	111.873	0.07668	0.21039	95	
96	189.20	232.93	0.016914	0.27337	71.833	3.6688	38.016	70.905	111.921	0.07722	0.21023	96	
97	188.94	238.95	0.017441	0.26956	71.685	3.7232	38.328	70.641	111.968	0.07776	0.21006	97	
98	188.48	245.06	0.018016	0.26582	71.536	3.7783	38.640	70.375	112.015	0.07831	0.20989	98	
99	187.82	251.27	0.018639	0.26215	71.386	3.8341	38.953	70.107	112.060	0.07887	0.20973	99	
100	210.60	193.91	0.014038	0.25702	71.236	3.8907	39.267	70.838	112.103	0.07942	0.20956	100	
101	213.51	198.82	0.014668	0.25229	71.084	3.9481	39.582	70.567	112.149	0.07997	0.20939	101	
102	216.45	203.76	0.015316	0.24792	70.933	4.0062	39.897	70.294	112.195	0.08052	0.20923	102	
103	219.42	208.72	0.016004	0.24390	70.780	4.0651	40.212	70.020	112.240	0.08107	0.20906	103	
104	222.42	213.71	0.016743	0.24024	70.626	4.1247	40.530	71.744	112.274	0.08161	0.20889	104	
105	225.45	218.75	0.017534	0.23694	70.472	4.1852	40.847	71.467	112.314	0.08216	0.20872	105	
106	228.50	223.84	0.018378	0.23399	70.317	4.2465	41.166	71.187	112.353	0.08271	0.20855	106	
107	231.59	228.98	0.019275	0.23139	70.161	4.3086	41.485	70.906	112.391	0.08326	0.20838	107	
108	234.71	234.17	0.020226	0.22909	70.005	4.3715	41.804	70.623	112.427	0.08381	0.20821	108	
109	237.86	239.41	0.021231	0.22704	69.847	4.4354	42.123	70.338	112.463	0.08436	0.20804	109	
110	241.04	244.70	0.022291	0.22522	69.689	4.5000	42.442	70.052	112.498	0.08491	0.20787	110	
111	244.25	250.04	0.023415	0.22363	69.529	4.5656	42.760	69.763	112.531	0.08546	0.20770	111	
112	247.50	255.43	0.024604	0.22217	69.369	4.6321	43.079	69.473	112.564	0.08601	0.20753	112	
113	250.77	260.87	0.025858	0.22084	69.208	4.6994	43.413	69.180	112.595	0.08656	0.20736	113	
114	254.08	266.36	0.027177	0.21962	69.046	4.7677	43.736	68.886	112.626	0.08711	0.20719	114	
115	257.42	271.87	0.028559	0.21851	68.883	4.8370	44.063	68.590	112.655	0.08766	0.20702	115	
116	260.79	277.41	0.029994	0.21751	68.719	4.9072	44.391	68.291	112.682	0.08821	0.20685	116	
117	264.20	282.98	0.031483	0.21661	68.554	4.9784	44.714	67.991	112.709	0.08876	0.20668	117	
118	267.63	288.58	0.033026	0.21581	68.388	5.0506	45.042	67.688	112.735	0.08931	0.20651	118	
119	271.10	294.21	0.034624	0.21511	68.221	5.1238	45.375	67.384	112.759	0.08987	0.20634	119	
120	274.60	299.87	0.036276	0.21451	68.054	5.1981	45.707	67.077	112.782	0.09042	0.20617	120	
121	278.14	305.56	0.037981	0.21401	67.885	5.2734	46.036	66.767	112.803	0.09097	0.20600	121	
122	281.71	311.28	0.039740	0.21361	67.714	5.3498	46.368	66.456	112.821	0.09152	0.20583	122	
123	285.31	317.02	0.041553	0.21331	67.543	5.4272	46.701	66.142	112.843	0.09208	0.20566	123	
124	288.95	322.78	0.043420	0.21311	67.371	5.5058	47.034	65.827	112.860	0.09264	0.20549	124	
125	292.62	328.57	0.045341	0.21299	67.197	5.5856	47.366	65.512	112.873	0.09320	0.20532	125	
126	296.33	334.38	0.047316	0.21297	67.023	5.6665	47.705	65.196	112.881	0.09375	0.20515	126	
127	300.07	340.21	0.049344	0.21296	66.848	5.7486	48.042	64.879	112.890	0.09431	0.20498	127	
128	303.84	346.06	0.051425	0.21295	66.670	5.8318	48.380	64.561	112.902	0.09487	0.20481	128	
129	307.63	351.93	0.053559	0.21294	66.492	5.9164	48.719	64.242	112.917	0.09543	0.20464	129	
130	311.50	357.80	0.055746	0.21293	66.312	6.0022	49.058	63.927	112.926	0.09598	0.20447	130	
131	315.38	363.69	0.057986	0.21292	66.131	6.0893	49.397	63.603	112.943	0.09654	0.20430	131	
132	319.29	369.60	0.060279	0.21291	65.949	6.1777	49.743	63.276	112.949	0.09711	0.20413	132	
133	323.23	375.53	0.062624	0.21290	65.766	6.2674	50.087	62.946	112.956	0.09767	0.20396	133	
134	327.23	381.48	0.065021	0.21289	65.581	6.3585	50.432	62.613	112.959	0.09823	0.20379	134	
135	331.26	387.44	0.067470	0.21288	65.394	6.4506	50.778	62.277	112.966	0.09879	0.20362	135	
136	335.32	393.41	0.070000	0.21287	65.205	6.5439	51.126	61.938	112.969	0.09936	0.20345	136	
137	339.42	399.40	0.072611	0.21286	65.017	6.6405	51.474	61.591	112.951	0.09992	0.20328	137	
138	343.56	405.41	0.075303	0.21285	64.826	6.7394	51.824	61.233	112.947	0.10049	0.20311	138	
139	347.73	411.44	0.078086	0.21284	64.634	6.8417	52.175	60.873	112.940	0.10106	0.20294	139	
140	351.94	417.49	0.080961	0.21283	64.440	6.9460	52.528	60.503	112.921	0.10163	0.20277	140	
141	356.19	423.56	0.083928	0.21282	64.244	7.0523	52.883	60.128	112.921	0.10220	0.20260	141	
142	360.48	429.64	0.086987	0.21281	64.047	7.1607	53.238	59.747	112.921	0.10277	0.20243	142	
143	364.81	435.74	0.090138	0.21280	63.848	7.2711	53.596	59.359	112.921	0.10334	0.20226	143	
144	369.17	441.86	0.093381	0.21279	63.647	7.3837	53.955	58.967	112.921	0.10391	0.20209	144	

**TABLA 8**  
**Ventiladores Tipo LF (Baja presión curvados hacia adelante)**

Pie / min	PRESION ESTATICA TOTAL - PULGADAS DE AGUA															
	0.50		1.00		1.25		1.50		1.75		2.00		2.25		2.50	
	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
1200	848	.23	1141	.40	1273	.50	1403	.62	1530	.75	1643	.87	1747	.99	1843	1.12
1300	862	.26	1149	.44	1274	.54	1395	.65	1515	.78	1633	.92	1741	1.05	1840	1.19
1400	877	.29	1159	.49	1280	.59	1395	.70	1507	.82	1618	.96	1729	1.11	1832	1.25
1500	892	.33	1172	.54	1289	.64	1399	.76	1506	.88	1611	1.01	1714	1.15	1819	1.31
1600	910	.37	1185	.59	1300	.70	1408	.82	1510	.94	1610	1.07	1708	1.21	1805	1.36
1700	930	.41	1191	.64	1313	.76	1418	.89	1518	1.01	1614	1.14	1708	1.28	1800	1.42
1800	951	.47	1214	.70	1327	.83	1430	.96	1528	1.09	1621	1.22	1712	1.36	1800	1.50
1900	973	.52	1229	.76	1341	.90	1443	1.03	1539	1.17	1631	1.31	1719	1.45	1804	1.59
2000	998	.59	1243	.83	1355	.97	1457	1.11	1552	1.25	1642	1.40	1728	1.54	1811	1.69
2100	1024	.66	1258	.91	1370	1.05	1472	1.19	1566	1.34	1654	1.49	1739	1.65	1821	1.80
2200	1052	.73	1276	.99	1385	1.13	1486	1.28	1580	1.44	1668	1.59	1751	1.75	1831	1.91
2300	1081	.82	1295	1.07	1399	1.22	1501	1.37	1594	1.54	1681	1.70	1764	1.86	1843	2.03
2400	1111	.91	1314	1.17	1416	1.32	1515	1.47	1609	1.64	1696	1.81	1778	1.98	1856	2.15
2500	1142	1.01	1335	1.27	1434	1.42	1530	1.58	1623	1.75	1710	1.93	1792	2.10	1870	2.28
2600	1174	1.11	1357	1.38	1453	1.53	1546	1.70	1638	1.86	1725	2.05	1806	2.23	1884	2.42
2700	1208	1.23	1380	1.49	1473	1.65	1564	1.82	1653	1.99	1740	2.17	1821	2.36	1898	2.55

## BIBLIOGRAFÍA

- Prentice Hall, "Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado". México: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., 1987.
- Havrella, Raimond A, "Fundamentos de Calefacción, Ventilación y Acondicionamiento de Aire". México: Mc. Graw Hill, 1988.
- Copeland, "Manual de Refrigeración". México: Copeland, 1988.
- Thermoelectric, "Temperature Measurement Designer's Guide". U.S.A. Thermoelectric Instruments, 1989.
- Instruments, "Measurement Control Design Book". U.S.A. E.I.L. Instruments, 1990.
- Barber Colman, "Product Catalog for HVAC Control". U.S.A. Barber Colman, 1991.
- Philips, "Manual de Alumbrado". México, 1983.

## REFERENCIAS

- Dirección General de Normas, "NOM J-411-1981". Aparatos electrodomésticos para la conservación de alimentos a bajas temperaturas.
- American National Standards Institute, "AHAM HRF-1-1988". Household Refrigerators Household Freezers.