

DISEÑO Y MONTAJE DE UN SISTEMA CENTRAL DE ACONDICIONAMIENTO
DE AIRE PARA EL EDIFICIO DE BIENESTAR ESTUDIANTIL

LUIS LOZANO SANCHEZ
GUSTAVO MIRANDA CATAÑO

CORPORACION UNIVERSITARIA TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
CARTAGENA D. T. y C.

1996

DISEÑO Y MONTAJE DE UN SISTEMA CENTRAL DE ACONDICIONAMIENTO
DE AIRE PARA EL EDIFICIO DE BIENESTAR ESTUDIANTIL

LUIS LOZANO SANCHEZ
GUSTAVO MIRANDA CATAÑO

Trabajo de grado presentado como requisito
parcial para optar al título de
Ingeniero Mecánico.

Director:
HELBERT A. CARRILLO
Ingeniero Mecánico

CORPORACION UNIVERSITARIA TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
CARTAGENA D. T. y C.
1996

Cartagena, Abril 8 de 1996

Señores

COMITE DE PROYECTO DE GRADO
Facultad de Ingeniería Mecánica
Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar
La ciudad

Estimados señores:

La presente tiene por objeto comunicarles que he dirigido a los estudiantes **LUIS LOZANO SANCHEZ Y GUSTAVO MIRANDA CATAÑO**, en su proyecto de grado titulado **DISEÑO Y MONTAJE DE UN SISTEMA CENTRAL DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE PARA EL EDIFICIO DE BIENESTAR ESTUDIANTIL**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Atentamente,

HELBERT CARRILLO
Ing. Mecánico
Cartagena, Abril 8 de 1996

Señores

COMITE DE PROYECTO DE GRADO

Facultad de Ingeniería Mecánica

Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar

La ciudad

Estimados señores:

Adjunto a la presente nos permitimos hacer entrega del Proyecto de grado titulado **DISEÑO Y MONTAJE DE UN SISTEMA CENTRAL DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE PARA EL EDIFICIO DE BIENESTAR ESTUDIANTIL**, requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Atentamente,

LUIS LOZANO SANCHEZ

GUSTAVO MIRANDA CATAÑO

LA CORPORACION UNIVERSITARIA TECNOLOGICA DE BOLIVAR, SE
RESERVA EL DERECHO DE PROPIEDAD INTELECTUAL DE TODOS LOS
TRABAJOS DE GRADO APROBADOS Y NO PUEDEN SER EXPLOTADOS
COMERCIALMENTE SIN AUTORIZACION.

DEDICATORIA

Esta parte del proyecto la aprovecharé para dedicar a aquellos que me brindaron un apoyo incondicional en el cumplimiento de esta meta.

Comenzaré por dedicar a mi padre, "El Perucho", por la confianza que depositó en mí, a pesar de tantos errores que cometí en el transcurso de la carrera; pienso que lo que tengo para enfrentar mi futuro se lo debo a él.

A mi madre, Gladys, y a mis hermanos, José, Carlos y Miguel, que desde otro plano, alimentaron mis ilusiones y mis anhelos. Gracias por hacerme sentir capaz y útil.

A mi abuelo Manlio y a mi abuela Apo, quienes murieron con la ilusión de verme hecho un Ingeniero y que desde el cielo iluminaron mi camino, como me duele no tenerlos en estos momentos y poder mostrarles donde estoy.

Como algo especial, quisiera dedicar este proyecto a tres personas que me dieron apoyo en los momentos mas críticos de la carrera, brindándome una amistad que podría mejor llamarse hermandad. Por todo esto, Bau, Ximena, Alfre... viviré eternamente agradecido con ustedes.

LUIS FERNANDO LOZANO

DEDICATORIA

A mis padres, que desde la distancia siempre estuvieron conmigo, brindándome su apoyo, comprensión y sobre todo su confianza, a ellos les debo haber cumplido mi meta.

A Dios por darme la fuerza necesaria y la voluntad para sobrellevar los momentos difíciles y por permitirme disfrutar los momentos felices.

A mis tios Rafael y Carmen, por acogerme en su hogar y soportar todas las molestias que durante tanto tiempo les pude ocasionar. Por su cariño y su constante voto de confianza, les estaré eternamente agradecido.

A mis hermanas Carmen y Mary, a mis primos Guiliam, Dalila y Liliana, que con su apoyo incondicional y su constante motivación hicieron mas placentero el difícil camino al triunfo.

A todos ellos, mis mas sinceros y profundos agradecimientos.

GUSTAVO ADOLFO MIRANDA

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a:

HELBERT CARRILLO, Ingeniero Mecánico y Profesor de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

JUAN INSIGNARES, Dibujante mecánico de la firma ALFA Ingenieros Ltda.

LUIS ARRIETA MIER, Ingeniero Mecánico y Gerente de la firma ALFA Ingenieros Ltda.

CONTENIDO

Pág.

RESUMEN

INTRODUCCION

1. CONCEPTOS BASICOS
 - 1.1 FISICA DEL AIRE ACONDICIONADO
 - 1.1.1 Acondicionamiento del aire
 - 1.1.2 Calor y temperatura
 - 1.1.2.1 Definición de calor
 - 1.1.2.2 Fuentes de calor
 - 1.1.2.3 Temperatura
 - 1.1.2.4 Unidad de calor
 - 1.1.2.5 Calor latente
 - 1.1.2.6 Calor sensible
 - 1.1.3 Vapor de agua en el aire
 - 1.1.3.1 Humedad
 - 1.1.3.2 Punto de rocío
 - 1.1.3.3 Temperatura de bulbo húmedo y seco
 - 1.1.4 Gráfico psicrométrico
 2. LA REFRIGERACION EN EL AIRE ACONDICIONADO
 - 2.1 UNIDADES DE REFRIGERACION
 - 2.2 REFRIGERACION POR LA VAPORIZACION DE LIQUIDO
 - 2.3 PROPIEDADES DE LOS REFRIGERANTES
 - 2.4 CICLO DE FUNCIONAMIENTO
 - .5 CLASES DE SISTEMAS DE REFRIGERACION
 - 2.5.1 Sistemas con compresor
 - 2.6 APARATOS DE REFRIGERACION
 - 2.6.1 Compresores
 - 2.6.2 Condensadores
 - 2.6.3 Evaporadores
 3. CALCULO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO
 - 3.1 CARGA TERMICA
 - 3.1.1 Datos climáticos
 - 3.1.2 Espacios del edificio
 - 3.1.3 Materiales de construcción y coeficientes de transmisión.
 - 3.1.4 Programaciones

3.1.5	Infiltraciones
3.1.6	Datos de entrada para cada espacio
3.1.7	Descripción de las zonas
3.1.8	Impresiones de los resultados
3.2	CALCULO DE LA TUBERIA DE AGUA
3.2.1	Sistemas de tuberías de agua
3.2.2	Proyecto de la tubería de agua
3.2.3	Pérdidas por rozamiento en la tubería
3.2.4	Cálculo de tuberías de agua con el programa E20-II.
3.2.5	Tanque de expansión
3.2.6	Selección de la bomba
3.2.7	Espesor del aislante térmico de la tubería
3.3	SELECCION Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS EQUIPOS
3.3.1	Unidades serpentín-ventilador
3.3.2	Unidades enfriadoras de agua
3.3.3	Instalación eléctrica
4.	MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES
4.1	UNIDAD CONDENSADORA
4.2	EL COMPRESOR
4.3	EL EVAPORADOR
4.4	EL TERMOSTATO
4.5	RED HIDRAULICA
4.6	LOCALIZACION DE FALLAS
4.6.1	Unidad condensadora y evaporadora que no funcionan
4.6.2	Sección evaporadora que sopla aire caliente
4.6.3	La unidad condensadora y la sección evaporadora en funcionamiento
4.6.4	Fusible fundido o interruptor de circuito disparado
5.	PRESUPUESTO DE MONTAJE
6.	RECOMENDACIONES
7.	CONCLUSIONES

Pág.

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

	Pág.	
FIGURA 1	Psicrómetro de Onda	
FIGURA 2	Carta Psicrométrica	
FIGURA 3	Sistema con compresor	
FIGURA 4	Pared de construcción ligera con planchas de madera y vidrio sencillo	
FIGURA 5	Sistema de tubería de retorno inverso	
FIGURA 6	Sistema de tubería con colector de retorno inverso y con tramos de retorno directo	
FIGURA 7	Sistema de tubería de retorno directo	
FIGURA 8	Menú principal para el cálculo de tubería de agua del programa E20-II	
FIGURA 9	Esquema de flujo del circuito de tubería	
FIGURA 10	Esquema de ubicación del tanque de expansión	
FIGURA 11	Curvas características de bombas	
FIGURA 12	Isométrico del sistema de tubería	
FIGURA 13	Esquema del aislamiento de tubería	
FIGURA 14	Esquema de los circuitos de control y de potencia	

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1	Materiales y coeficientes "U" para paredes, ventanas, techos y pisos del edificio.
TABLA 2	Grado de actividad de las personas y ganancia de calor.
TABLA 3	Resultados del cálculo de la carga térmica.
TABLA 4	Velocidades recomendables del agua.
TABLA 5	Flujo en las secciones.
TABLA 6	Expansión del agua.
TABLA 7	Número de Prandtl.
TABLA 8	Capacidad nominal del sistema.
TABLA 9	Rendimiento del ventilador del Fan-Coil.

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A. Formato para cálculo manual de la carga térmica.
- ANEXO B. Coeficientes de transmisión U para materiales de construcción empleados en particiones
- ANEXO C. Coeficientes de transmisión U para cielos rasos, techos y pisos.
- ANEXO D. Resistencia térmica para los diferentes materiales de construcción
- ANEXO E. Infiltraciones por puertas y ventanas
- ANEXO F. factores de vidrio para ganancias de calor solar a través de ventanas.
- ANEXO G. Condiciones interiores de diseño recomendadas
- ANEXO H. Valore usuales de factores de By-pass para diferentes aplicaciones.
- ANEXO I. Catálogos de fan-coils y Chillers
- ANEXO J. Catálogo de la bomba
- ANEXO K. Viscosidad cinemática de algunos gases y líquidos.
- ANEXO L. Conductividades térmicas de gases y vapores.
- ANEXO M. Formato para la introducción de datos al programa de cálculo de tubería.
- ANEXO N. Propiedades del agua

RESUMEN

Con la construcción del edificio de bienestar estudiantil la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar dió solución a una necesidad creada gracias al aumento de la

comunidad estudiantil en los últimos años. Se trata de un moderno edificio con todas las características y comodidades que exige la vida moderna.

Es política de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar brindar a su cuerpo de colaboradores y al estudiantado en general las mejores condiciones e infraestructura para realizar con toda comodidad las labores cotidianas.

Vivimos en una ciudad donde las condiciones climáticas casi que obligan, a crear un ambiente confortable y agradable. Es por esto que la universidad decidió hacer uso de todos sus recursos tanto humanos como técnicos para realizar esta tarea, consistente en diseñar un sistema central de acondicionamiento de aire para todas las oficinas ubicadas en el segundo piso, destinadas a alojar aquellas dependencias tendientes a buscar el bienestar estudiantil.

Para el diseño del sistema de aire acondicionado se utilizarán todas las herramientas con que la universidad ha dotado al departamento de refrigeración y aire acondicionado. No cabe duda que ya la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar se encuentra a la vanguardia en esta área de estudio de la ingeniería. El recurso humano y técnico que se está formando aquí permite realizar proyectos como este, con toda confiabilidad, bajo costo y calidad, colocando así, a disposición de la sociedad un servicio mas.

El proyecto incluirá un presupuesto de montaje donde se estima el costo de éste. Cabe anotar que fue elaborado con precios vigentes a Mayo de 1.996.

En la última parte del trabajo, se presenta una completa y muy sencilla guía de mantenimiento al alcance de cualquier técnico u operador que se encargue de dicha labor.

El desarrollo del plan de mantenimiento preventivo busca dejar una buena información para la parte académica en lo que se refiere al laboratorio de refrigeración puesto que no se cuenta con un procedimiento detallado y sencillo de entender, así pues, queda una buena base para futuros planes y programas de mantenimiento y localización de fallas.

Se espera que este trabajo sea entonces, una confirmación mas del compromiso que como Ingenieros de la Corporación Universitaria de Bolívar tenemos con el desarrollo de nuestro país.

INTRODUCCION

Las diversas condiciones climáticas han obligado al hombre a adecuar y acondicionar de la mejor manera su habitat, bien sea de trabajo o vivienda. Es uno de los objetivos de la ingeniería, trabajar por idear y crear los mecanismos necesarios para satisfacer esas necesidades.

La ciudad de Cartagena, por su condición de ciudad costera brinda un clima bastante cálido, donde se necesita de unas condiciones de confort mínimas para garantizar el buen desempeño de las labores cotidianas.

La Ingeniería Mecánica, en particular la refrigeración y el aire acondicionado como una de sus áreas de estudio, ofrece soluciones a los problemas de climatización y acondicionamiento de recintos, bien sean para uso de personas o del desarrollo de procesos productivos.

Nos compete entonces, a los ingenieros mecánicos, diseñar los mejores sistemas para acondicionamiento de recintos y espacios, en cuanto a calidad, costos y funcionalidad.

La realización de proyectos como el que a continuación se presenta, son una muestra mas que la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar, como entidad formadora de Ingenieros Mecánicos busca responder y dar solución a necesidades no solo propias sino también de la comunidad, ya que se está brindando una nueva alternativa a quienes necesitan de un buen diseño de aire acondicionado.

Mediante el Software E20-II, que la CUTB adquirió a la Carrier Corporation, se están realizando los nuevos sistemas de acondicionamiento de aire, es este el segundo proyecto que se adelanta por parte de estudiantes de la CUTB para dar solución a necesidades creadas con el rápido crecimiento que la CUTB ha tenido en los últimos años. El edificio de Bienestar Estudiantil, que ya es una verdadera realidad, es una muestra de ello; en el, se han acondicionado los espacios destinados a las oficinas que albergarán a las personas encargadas del bienestar estudiantil y universitario en general.

El propósito de este proyecto es ofrecer a la CUTB un diseño de alto rendimiento, con un costo inicial alto pero que definitivamente, vale la inversión porque los resultados son estupendos en cuanto a rendimiento laboral se refiere, así mismo busca mostrar que la CUTB apoya a su material humano y técnico para el desarrollo de proyectos que, como este, ayudan al crecimiento de nuestra institución.

1. CONCEPTOS BASICOS

1.1 FISICA DEL AIRE ACONDICIONADO

1.1.1 Acondicionamiento del aire: El llamado acondicionamiento del aire consiste en la regulación de las propiedades físicas de este elemento con vistas a las siguientes posibilidades:

a) Mantener el aire ambiente en la condición mas favorable para la salud del ser humano y su comodidad o confort.
b) Mantener el aire que rodea un material o producto en procesos de fabricación, o en almacenamiento, en la condición más favorable para su estabilidad física. Ello implica el control de las siguientes condiciones o estados del aire dentro de un ambiente:

- La temperatura del aire.
- La humedad o contenido en agua del aire.
- El movimiento del aire.
- La limpieza del aire.

La técnica del acondicionamiento del aire comprende la aplicación de ciertos principios fundamentales de física,

e implica la medición de diversas magnitudes, tales como peso, volumen, presión, temperatura, etc.

1.1.2 Calor y temperatura

1.1.2.1 Definición de calor: El calor es una forma de energía. Todos los cuerpos están constituidos por moléculas, dichas moléculas vibran incesantemente y como cada una de ellas tiene cierto peso, posee por lo tanto cierta cantidad de energía cinética. El calor es la energía que un cuerpo posee debido a la continua vibración de sus moléculas. En otras palabras, el calor es la energía del movimiento molecular.

1.1.2.2 Fuentes de calor: El calor puede obtenerse de tres fuentes a saber: físicas, químicas y mecánicas. La tierra y el sol son fuentes físicas de calor; la combustión de la madera, petróleo o carbón constituye un ejemplo de fuente química de calor, ya que la combustión es una reacción química; y el roce de dos trozos de madera entre sí hasta que se calientan, es el ejemplo de fuentes mecánicas de calor.

1.1.2.3 Temperatura: La temperatura indica cuan caliente o frío se halla un cuerpo; esto es, traduce la velocidad de vibración de las moléculas del cuerpo. Se dice que un cuerpo está caliente cuando tiene temperatura alta, y frío cuando ésta es baja.

Cuando un cuerpo, por ejemplo, una barra de hierro, recibe calor de alguna fuente, las vibraciones de sus moléculas se tornan más rápidas y su temperatura se eleva; por el contrario, al perder calor el cuerpo, las

vibraciones de sus moléculas se tornan menos rápidas y su temperatura desciende.

La temperatura no es la medida de la cantidad de calor que el cuerpo posee, sino la medida de la intensidad de dicho calor. La temperatura puede considerarse como la medida de la velocidad de vibración de las moléculas, mientras que la cantidad de calor es la energía total de las moléculas que componen el cuerpo. Una bola de hierro de 1 pie de diámetro y otra de 1 pulgada de diámetro pueden tener exactamente la misma temperatura, aunque a la bola grande corresponderá una cantidad de calor varias veces mayor.

1.1.2.4 Unidad de calor: Dado que el calor es una forma de energía, puede medirse en cualquiera de las unidades usuales de energía, o por los efectos que obra sobre sustancias determinadas. Resulta mas conveniente adoptar una unidad de cantidad de calor en función de los efectos que obra sobre una sustancia dada. Esta unidad de cantidad de calor se define como el calor necesario para elevar la temperatura de 1 libra de agua de 63 a 64 °F y se llama unidad térmica británica (British Thermal Unit), se abrevia B.T.U. Dicha unidad es la que se emplea en trabajos técnicos. Para la mayoría de los trabajos técnicos ordinarios, se puede considerar a la B.T.U. como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 libra de agua en 1 °F, pues esta cantidad es prácticamente la misma en cualquier región de la escala Fahrenheit. Un B.T.U. equivale, en unidades de trabajo a 778 libra-pie; de modo que para hallar la cantidad de calor necesario para realizar determinado trabajo, ha de dividirse el trabajo, expresado en libra-pie, por 778.

1.1.2.5 Calor latente: Cuando una sustancia cambia de estado, como en el pasaje del estado líquido al estado gaseoso, se produce una adición de calor a la sustancia sin que ocurra variación alguna de la temperatura del cuerpo hasta que finaliza dicho cambio de estado. La cantidad de calor así requerida por la unidad de peso de la sustancia para cambiar de estado se llama calor latente de esa sustancia. Si la transformación se produce del estado líquido al estado gaseoso, o viceversa, el calor latente se llama calor latente de vaporización de la sustancia. Si la transformación es del estado sólido al estado líquido, o viceversa, el calor latente se llama calor latente de fusión de la sustancia.

Acostumbra tomarse como base para la comparación de los calores latentes 1 libra de la sustancia, por ejemplo: si se deja hervir agua en un recipiente abierto, y al nivel del mar, y se toma su temperatura durante la ebullición, se podrá comprobar que ésta permanece estacionaria en 212 °F hasta que se evapora toda el agua. El líquido ha absorbido una gran cantidad de calor mientras se transforma en vapor, sin cambiar de temperatura. La cantidad de calor así gastada en convertir 1 libra de agua, a la temperatura del punto de ebullición, en vapor a la misma temperatura, se llama calor de evaporización del agua. El calor de evaporización del agua a 212 °F es de 970.2 B.T.U., vale decir que se necesitan 970.2 B.T.U. para convertir 1 libra de agua a 212 °F en vapor a la misma temperatura y a la presión atmosférica.

1.1.2.6 Calor sensible: La manera mas simple de reconocer el calor es por medio del sentido del tacto. Si un determinado objeto tiene gran cantidad de calor, al tocarlo sentiremos que está caliente; y entre dos objetos de un mismo material, el sentido del tacto permitirá apreciar sus temperaturas relativas. La razón de lo anterior reside en el hecho de que el sentido del tacto no indica directamente la temperatura sino mas bien la rapidez con la cual el calor se transfiere del objeto a la mano, o es sustraído de la mano si el objeto está mas frío que ella. El calor que se manifiesta de este modo se llama calor sensible.

Puede medírsele con un termómetro. Un cuerpo estará tanto más caliente cuanto mas calor sensible posea, y a la inversa, se hallará mas frío cuanto mas se reduzca su calor sensible.

1.1.3 Vapor de agua en el aire.

1.1.3.1 Humedad: Para una temperatura dada, la cantidad de vapor necesaria para saturar un determinado espacio, es constante, de acuerdo con la ley de Dalton, según la cual la presión de una mezcla de gas y vapor es igual a la suma de las presiones que cada uno ejercería si ocupara solo el mismo espacio. Sin embargo por lo general el aire atmosférico no contiene todo el vapor que admitiría para saturarse a una temperatura dada. Para aclarar esto, consideremos al aire atmosférico en un cierto estado A (con el término estado se hace referencia a las condiciones del aire en cuanto a presión y temperatura). Si se indica con P la presión del vapor en el aire y con P_1 la presión del vapor saturado a la misma temperatura, la relación P/P_1 representa la humedad

relativa del aire. En otras palabras, puede decirse que la humedad relativa es la relación entre la presión del vapor presente y la presión del vapor correspondiente a la saturación a esa temperatura. Se expresa comúnmente en tanto por ciento; así, si $P/P_1 = 0.48$, se dice que la humedad relativa es del 48%.

La humedad absoluta se refiere al peso total de vapor de agua por unidad de volumen, y se expresa en gramos, o en libras por pie cúbico.

La humedad específica se refiere al peso del vapor de agua en libras, existentes en 1 libra de aire seco.

1.1.3.2 Punto de rocío: Si se enfría una mezcla de aire y vapor (a presión constante), el vapor se saturará cuando la temperatura llegue a alcanzar un valor tal que la presión P sea la presión de saturación. Si se continúa enfriando por debajo de esta temperatura, el vapor se condensará parcialmente. La temperatura a la cual comienza la condensación se llama punto de rocío del aire al estado original A , y corresponde por lo tanto a una humedad relativa del 100% en el aire.

1.1.3.3 Temperatura de bulbo húmedo y seco: La temperatura característica del aire es la que indica el termómetro húmedo. Esta es la menor temperatura que alcanza un cuerpo mojado con agua cuando se le expone a una corriente de aire. La temperatura de bulbo seco no es mas que la temperatura que marca un termómetro seco expuesto a una corriente de aire.

La humedad de la atmósfera puede medirse mediante un psicrómetro giratorio (Figura 1) con dos termómetros, uno de los cuales es completamente seco y mide la temperatura de bulbo seco, y el otro con su bulbo recubierto de un trozo de paño mojado; si el aire ambiente no está saturado de humedad o vapor de agua, el agua del paño se evaporará, enfriando así el bulbo. La rapidez de la evaporación depende de la humedad relativa del aire, y el descenso de la temperatura indica en forma aproximada el régimen de evaporación en el paño.

1.1.4 Gráfico Psicrométrico: El diagrama psicrométrico, (Figura 2), facilita la manera de encontrar la humedad relativa. Se lee la temperatura del termómetro de bulbo seco sobre la línea horizontal en la base del diagrama; se sigue la vertical en este punto hasta que corte la temperatura del termómetro de bulbo húmedo, inclinada en diagonal de izquierda a derecha; la humedad relativa se lee en la línea curva que pasa mas cercana al punto de intersección.

La escala vertical al lado derecho da el contenido efectivo de vapor de agua por kilogramo de aire seco a diferentes humedades relativas.

2. LA REFRIGERACION EN EL AIRE ACONDICIONADO

Se entiende por refrigerar la acción de disminuir o rebajar el calor de una cosa. En la técnica y la industria, se llama refrigeración al proceso que permite mantener, a los cuerpos por debajo de la temperatura de la atmósfera que los rodea.

En la técnica del acondicionamiento de aire el proceso de refrigeración tiene por objeto enfriar y mantener la masa aérea que circula por el edificio a una temperatura menor que la de la atmósfera externa.

2.1 UNIDADES DE REFRIGERACION.

Como el hielo es un agente refrigerante muy conocido, se le ha tomado de base para el cálculo. La unidad de medida de la capacidad refrigerante es la tonelada de hielo y por día. la tonelada equivale a 2.000 libras aproximadamente. Dado que la fusión de 1 libra de hielo absorbe 144 B.T.U. la fusión de 2.000 libras que contiene una tonelada absorberá $2.000 \times 144 = 288.000$ B.T.U. Como esta absorción se verifica en 24 horas, la proporción que corresponde a una hora es de $288.000/24 = 12.000$ B.T.U.

2.2 REFRIGERACION POR LA VAPORIZACION DE LIQUIDO.

En la refrigeración por medio del hielo, el calor absorbido por el hielo al fundirse procede del cuerpo que se quiere enfriar, razón por la cual disminuye su temperatura. Sin embargo, se puede lograr el mismo resultado, recurriendo al calor latente de vaporización de un líquido. Para ello, se deja fluir un líquido fácil de vaporizar en serpentines emplazados en el medio que se quiere enfriar; el calor contenido en éste pasa al líquido provocando su evaporación, y esta absorción térmica bajo forma de calor latente de vaporización produce el descenso de temperatura que se quería obtener en el medio aludido. El gas es evacuado del serpentín para ser nuevamente transformado en líquido y queda así disponible para nuevos ciclos de refrigeración. Con ello el líquido pasa por una serie de cambios, al final de los cuales, vuelve su estado primitivo. Una serie de cambios de estado recibe el nombre de ciclo. Al líquido que se usa para producir la refrigeración se le llama refrigerante.

2.3 PROPIEDADES DE LOS REFRIGERANTES.

Es conveniente que un refrigerante reúna las características que se indican a continuación.

Baja temperatura de ebullición a presión moderada. Es decir, que el refrigerante debe poder absorber calor de cualquier fuente algo mas caliente que él, a una presión no muy superior a la atmosférica y a la temperatura mas baja posible.

Alto calor latente de vaporización. Dicho de otra forma, el cambio de estado líquido a vapor sin cambiar la

temperatura o la presión, debe exigir la mayor cantidad posible de calor por libra de refrigerante.

Elevada temperatura de condensación y baja presión de condensación. Con un refrigerante que cumpla esta condición, el agua que condensa, o el aire, no deberán estar muy fríos o el gas comprimido que va al condensador solo exigirá una presión moderada.

Pequeño volumen específico del gas comparado con el líquido. Cuanto mas alto sea el volumen específico, tanto mayor será la potencia requerida para el funcionamiento del compresor.

Seguridad contra explosiones peligrosas y contra los efectos perjudiciales que sobre el cuerpo humano puedan causar las fugas de gas de los aparatos.

El refrigerante no debe tener acción corrosiva sobre los metales empleados para controlarlo, almacenarlo o transportarlo.

2.4 CICLO DE FUNCIONAMIENTO

En un sistema enfriador, el refrigerante sufre las transformaciones que indica su ciclo de funcionamiento. Dicho ciclo se llama cerrado porque el refrigerante lo inicia en un cierto estado, y después de sufrir una serie de cambios de temperatura y presión, vuelve al estado del cual ha partido. Como ejemplo, puede tomarse el de un líquido refrigerante que al absorber calor del evaporador se transforma en gas. Este gas frío sale del evaporador y es sometido a una presión mayor, de manera que aumenta la presión simultáneamente con la temperatura. A cada

presión corresponde un punto de ebullición definido para cada refrigerante y este punto de ebullición se eleva a medida que se aumenta la presión. El depósito o tubo que contiene este gas a elevada temperatura y alta presión, se encuentra en condiciones de ceder su calor a alguna corriente de agua o aire que si bien no será fría comparada con la atmósfera, está considerablemente mas fría que el gas comprimido en el depósito.

El dispositivo enfriador se llama condensador y en él la temperatura del gas disminuye hasta por debajo del punto de ebullición a la presión existente y de esta manera se condensa el gas tomando la forma de líquido.

El líquido refrigerante se encuentra a la misma presión que tenía cuando era gas, pero a una temperatura mucho menor que el punto de ebullición correspondiente a tal presión. Pasa a través de una válvula de expansión, hacia el evaporador en el cual la presión es mucho menor. El líquido tiene una temperatura mucho mayor que el punto de ebullición correspondiente a la baja presión del evaporador, y en consecuencia, hierve o se transforma en gas tomando el calor necesario para esta transformación del medio que rodea el evaporador. Así cada libra de líquido refrigerante que se transforma en gas absorbe una cantidad de calor igual al calor latente de vaporización del refrigerante a la presión que reina en el evaporador. El refrigerante vuelve así a su estado gaseoso original, cumpliendo de esta forma un ciclo de funcionamiento. Este ciclo se repite sucesivamente.

2.5 CLASES DE SISTEMAS DE REFRIGERACION

Los sistemas de refrigeración pueden ser clasificados en dos clases principales: Una, que emplea energía mecánica para comprimir el refrigerante y se llama sistema con compresor; y el otro, que utiliza el calor para concentrar el refrigerante y se llama sistema de absorción. El sistema de absorción es muy adecuado para temperaturas muy bajas, y para aquellos casos en que se dispone de vapor de escape a bajo costo, procedente de una máquina u otro aparato que funcione a vapor. Como el sistema de absorción es muy poco utilizado en los sistemas de aire acondicionado, a continuación solo se describirá el sistema con compresor.

2.5.1 Sistema con compresor: El sistema de la figura 3 muestra un sistema elemental con compresor que utiliza un refrigerante susceptible de ser fácilmente transformado de gas a líquido. En "a" se indica un compresor que recibe el gas expandido, que entra por el tubo "c" que procede del serpentín evaporador "b". El compresor puede ser a pistón o centrífugo y es accionado por un motor que utiliza cualquier energía, aunque lo mas corriente es el motor eléctrico. Después de ser comprimido el refrigerante gaseoso tiene presión y temperatura mucho mas elevada que a su entrada al compresor y se descarga por el tubo "d" en el serpentín "e" colocado dentro del condensador "f". El agua de refrigeración que rodea el serpentín entra por "g" y sale por "h". Esta agua debe encontrarse a temperatura mas baja que la necesaria para que el gas contenido dentro del serpentín "e" pasa del estado gaseoso al líquido. En el caso particular de un refrigerante de uso muy corriente, la presión media indicada dentro del serpentín "e" suele ser de 130 libras, y la temperatura, de unos 90°F. Si el agua que entra por el tubo "g" está a 80°F el gas puede ser

condensado mediante un relativamente pequeño volumen de agua, ya que hay 10 grados de diferencia de temperatura entre el gas y el agua.

la parte inferior del serpentín "e" puede considerarse como un colector del líquido condensado, que estará a la misma presión que tenía el gas a su entrada del condensador (descontando las pérdidas debido a la fricción en los tubos). Dicho líquido pasa por el tubo "i" a la válvula de expansión "j". Cuando se abre un poco la válvula "j", el líquido refrigerante pasa al evaporador "b", donde debido a la menor presión se transforma nuevamente en gas, sustrayendo del medio que rodea al evaporador, el calor necesario para este cambio de estado. Este medio puede ser agua o salmuera que entra en el tanque "k" por el tubo "m" y sale por el "l", aunque también puede consistir en aire insuflado sobre los serpentines del evaporador, generalmente los tubos "b" llevan soldadas unas aletas delgadas de metal, para aumentar la velocidad de transmisión de calor; en tal caso este dispositivo recibe el nombre de evaporador de expansión directa o convector. El gas expandido y caliente sale del serpentín evaporador por el tubo "c" y retorna al compresor para iniciar el nuevo ciclo.

2.6 APARATOS DE REFRIGERACION

2.6.1 Compresores: Los compresores utilizados en el acondicionamiento del aire son del tipo de pistón, o bien del tipo centrífugo.

En los primeros, el refrigerante gaseoso es comprimido en un cilindro por el movimiento de ida y vuelta de u

pistón. En los segundos, la compresión se produce por la rotación a alta velocidad de un impulsor o rotor.

2.6.2 Condensadores: En la práctica, el calor que el condensador extrae del refrigerante gaseoso comprimido, es devuelto al aire exterior. Esto puede verificarse directamente, permitiendo que el aire circule alrededor de los tubos que contienen gas, como sucede en los pequeños refrigeradores caseros y en los aparatos de aire acondicionado no mayores de 3/4 de tonelada. Lo habitual, sin embargo, es que el proceso de condensación se lleve a cabo con la ayuda de un ventilador que aumente el caudal de aire circulado entre los tubos que contienen el refrigerante a temperatura alta, por lo general dichos tubos están provistos de aletas que aumentan la superficie transmisora de calor.

2.6.3 Evaporadores: Los evaporadores son dispositivos de transmisión de calor en los cuales el refrigerante vuelve al estado gaseoso al absorber calor de la sustancia que se ha de enfriar. Los evaporadores utilizados en el acondicionamiento del aire se llaman indirectos si enfrían agua o salmuera, pero reciben el nombre de expansión directa si enfrían el aire.

3. CALCULO DE LAS INSTALACIONES DEL EDIFICIO

3.1 CARGA TERMICA

3.1.1 DATOS CLIMATICOS: Este proceso se inicia introduciendo en el programa E20-11 los datos climáticos de Cartagena, como lo muestra el formato Design Weather Parameters. Una vez el programa guarda estos datos, calcula las ganancias máximas de calor solar, en el día mas caluroso de cada mes del año para las orientaciones norte, sur, este, oeste y todas sus combinaciones. Luego computa los perfiles de temperatura de diseño de enfriamiento mes por mes como se observa en el formato Cooling Design Temperature Profiles. Estos datos son graficados así: abcisas, las horas del día y ordenadas, las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo.

Observando las gráficas se tiene que la temperatura crítica se encuentra en los meses de Julio y Agosto a las 15 horas (3:00 P.M.) y es de 90 °F, siendo esta entonces la temperatura de diseño. El programa escoge automáticamente estas condiciones de diseño. Para este caso selecciono el mes de julio a las 15:00 horas con 90 °F temperatura de bulbo seco y 83.5 °F temperatura de bulbo húmedo.

3.1.2 Espacio del edificio: El edificio de bienestar estudiantil está constituido por dos pisos distribuidos así:

Primer piso:

- Zona de gimnasia y aeróbicos.
- Zona de baño para damas.
- Zona de baño para caballeros.

Segundo piso:

- Siete oficinas administrativas
- Zona de recepción.

El sistema de aire acondicionado solo se instalará en las siete oficinas del segundo piso denominadas así: OFF1; OFF2; OFF3; OFF4; OFF5; OFF6; OFF7; sus ubicaciones se muestran en el plano principal. Cada oficina tendrá un control independiente de temperatura o termostato.

3.1.3 Materiales de construcción y coeficientes de transmisión: Para todas las oficinas se utilizaron los mismos materiales de construcción cuyos coeficientes de transmisión fueron tomados del System Design Manual-part I (Load estimating). En la mayoría de las particiones y paredes interiores se utilizaron dos materiales, lo que lleva a seleccionar el coeficiente de transmisión para cada uno de ellos y luego hallar un coeficiente total de acuerdo a los principios de transferencia de calor; esto debe hacerse puesto que el programa solo admite un coeficiente de transmisión por cada pared o división.

De acuerdo a la figura 4 la pared está compuesta por dos placas de madera sostenida por un armazón donde se encierra una cámara de aire.

La resistencia al flujo se determina por:

$$R_T = R_w + R_{A_{\text{inte}}} + R_{A_{\text{ext}}}$$

donde:

R_T = Resistencia térmica total de la pared

R_w = Resistencia térmica de las planchas de madera

$R_{A_{inte}}$ = Resistencia del aire interior

$R_{A_{ext}}$ = Resistencia del aire exterior

Del anexo B se toma $U_w = 0.27 \text{ BTU/hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$ (Para un espesor de madera de $\frac{3}{4}$ ") \Rightarrow

$$R_w = 1/ U_w = 3.7^\circ\text{F.BTU/hr.ft}^2$$

Del anexo D se toma $R_{A_{aire}} = 0.68^\circ\text{F.BTU/hr.ft}^2$ (Película vertical de aire quieto y flujo de calor horizontal)

Tanto el aire exterior como el aire interior son quietos, se tiene que:

$$R_{A_{int}} = 0.68^\circ\text{F.BTU/hr.ft}^2$$

$$R_{A_{ext}} = 2 \times (0.68^\circ\text{F.BTU/hr.ft}^2) \text{ [aire en ambos lados]} \\ = 1.36^\circ\text{F.BTU/hr.ft}^2$$

Se tiene que: $R_T = 3.7 + 0.68 + 1.36 \Rightarrow$

$$R_T = 5.74^\circ\text{F.BTU/hr.ft}^2$$

$$U_T = 0.174^\circ\text{F.BTU/hr.ft}^2$$

Con el vidrio vertical sencillo:

$$1/R_T = 1/R_w + 1/R_v \Rightarrow U_T = U_w + U_v$$

Donde:

U_w = Coeficiente de conductividad de la pared de madera = $0.174 \text{ BTU/hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$

U_v = Coeficiente de conductividad del vidrio sencillo en aire quieto.

$$U_v = 1/(R_1 + R_{ext})$$

Donde

R_1 = Resistencia térmica del vidrio = $1/U_1$

$U_1 = 1.13$ (Anexo B) entonces $R_1 = 1/1.13 = 0.884$

$R_{ext} = 2 \times 0.68$ (Anexo D) aire a ambos lados = 1.36

Se tiene: $U_v = 1/(0.884 + 1.36) \Rightarrow$

$$U_v = 0.445 \text{ BTU/hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

La resistencia de la pared será:

$$U_t = 0.174 \text{ BTU/hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} + 0.445 \text{ BTU/hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$U_t = 0.619 \text{ BTU/hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

TABLA 1. Materiales y coeficientes "U" para paredes, ventanas, techos y pisos del edificio.

Tipo de material	Coeficiente de transmisión	Método de obtención
Bloque de concreto hueco ligero, de espesor 4". sin acabado en ambos lados.	0.35	Anexo B
Vidrio vertical sencillo	1.13	Anexo B
Construcción ligera con planchas de madera de 3/4" de espesor y vidrio vertical	0.619	Cálculo

sencillo.		
Piso de concreto con agregado de arena sobre un espacio no acondicionado y sin cielo raso.	0.52	Anexo C
Techo de concreto con agregado de arena.	0.505	Anexo C

3.1.4 Programaciones: Las programaciones (Schedules) se utilizan para definir las ganancias de calor internas por cada hora del día.

En el formato Master Schedule Summary se presentan tres tipos de Schedules:

- Para personas
- Para iluminación
- Para equipos eléctricos

Los porcentajes mostrados indican, por ejemplo: en iluminación, el 0% indica que no hay luces encendidas en esa hora y su ganancia de calor será nula.

El programa realiza los cálculos con el Schedule de diseño (Design) donde todos los valores están definidos el 100% en las horas de trabajo normal, es decir el espacio tiene el máximo de personas, todas las luces encendidas y todos los equipos eléctricos funcionando.

3.1.5 Infiltraciones: El cálculo de las infiltraciones es de suma importancia ya que este es un factor que constituye una gran ganancia de calor.

En el anexo G se presentan valores con viento a 7.5 millas/hora en la dirección perpendicular a las

puertas y ventanas y valores promedio de intersticios entre puertas, ventanas y sus marcos.

Dependiendo de la forma de la ventana y de la superficie que tenga abierta así serán los CFM por ft² de infiltración.

Para calcular el caudal de aire de infiltración es el siguiente procedimiento:

a) Infiltración a través de ventanas (I.V.)

$$I.V. = F_1 \times A$$

I.V. = Infiltración por ventana (C.F.M.)

F_1 = C.F.M./ft² de abertura (Anexo E)

A = área de la ventana (ft²)

b) Infiltración a través de puertas (I.P.)

$$I.P. = F_2 A$$

I.P. = Infiltración por puertas (C.F.M.)

F_2 = C.F.M./ft² de superficie de puerta dependiendo de su uso (Anexo E)

A = Area de la puerta (ft²)

El caudal final de aire de infiltración es:

$$I = I.V. + I.P. \quad (\text{C.F.M.})$$

3.1.6 Datos de entrada para cada espacio

En este formato el programa muestra información general de cada espacio así:

- Nombre del espacio.

- Información de paredes: color, densidad, valores de "U", tipos, áreas y orientaciones.
- Información del techo: color, densidad, valor de "U", tipo y área.
- Información de los vidrios: tipo, valor "U", factor de vidrio, tipo de sombra (externa o interna), áreas y orientaciones.
- Cargas internas: área de piso, cantidad de personas, iluminación, aparatos eléctricos y misceláneas.
- Particiones, infiltraciones y pisos : valor de "U", área y temperatura del espacio adyacente a cada tipo de partición. Infiltración en C.F.M.

El desarrollo de las labores de las personas que ocupan los espacios acondicionados generan una ganancia de calor sensible y latente. En la tabla 2 se muestra valores en BTU/hr/persona de acuerdo a la actividad que realicen.

TABLA 2. Grado de actividad de las personas y ganancia de calor (CARRIER. Manual de aire acondicionado)

Grado de actividad	Ganancia de calor (BTU/hr/persona)	
	Sensible	Latente
Sentado, descansando.	230	120
Trabajo de oficina.	245	205
Trabajo sedentario.	280	270
Trabajo medio.	295	455
Trabajo pesado.	525	925

En la iluminación de todas las oficinas se utilizarán lámparas fluorescentes de 40 watt; los equipos eléctricos tales como máquinas de escribir, computadores,

impresoras, etc. quedan a opción de quien ocupe la oficina.

En el formato "complex spase Descripción" aparece un termino denominado "Glass Factor" que determina la ganancia de calor solar a través del vidrio. Este factor se define de acuerdo a las condiciones como se proteja el vidrio, es decir; con polarizado o con cortinas. Los Glass factor se encuentran en el Anexo F.

3.1.7 Descripción de las zonas: El formato "zone Description" muestra información general y algunas características de cada zona, por ejemplo:

- Nombre de la zona.

- Programación del termostato y equipo, equipo de enfriamiento parámetros del sistema de enfriamiento: aire de suministro, aire de ventilación.

- Parámetros del sistema de calefacción: En climas cálidos este parámetro no se toma en cuenta.

- Otros parámetros del sistema: ventilador de suministro, aire de extracción, aire de retorno, datos del serpentín.

- Espacios incluidos en la zona.

El resto de la información general corresponde a recomendaciones de la ASHRAE, tales como:

- Condiciones internas de diseño para aplicaciones generales de acondicionamiento de aire (Anexo F).

- Condiciones de confort entre 74°F y 76 °F de bulbo seco y 45 a 50% de humedad relativa.

- Las zonas no acondicionadas se estiman con una temperatura promedio de 85 °F (temperatura a la sombra).

- El factor de Bypass indica el porcentaje de aire que pasa a través del serpentín sin sufrir cambios; se estima en 0.1 para condiciones mínimas de confort (anexo H).

3.1.8 Impresiones de los resultados: El formato "Individual Element Detail Report" donde se presenta los datos generales y características de cada uno de los elementos del espacio tales como paredes, pisos, vidrios, particiones, personas, infiltraciones, etc., y el total de calor sensible y latente.

El formato "Zone Design Cooling Load Summary" recopila la siguiente información:

- Información de la carga: carga solar, transmisión por vidrios, particiones, iluminación, infiltración, aparatos eléctricos, etc.

- Parámetros de selección del serpentín: temperaturas del aire al entrar y al salir, calor sensible del serpentín, calor total del serpentín y total pies cúbicos por minutos de enfriamiento.

- Información general: Carga total en toneladas de refrigeración.

- En la tabla 3 se resumen los resultados de carga térmica y caudal de aire requeridos para acondicionar los espacios.

TABLA 3 Resultados del cálculo de la carga térmica

Espacio	Toneladas de refrigeración	Caudal de aire (CFM)
Oficina 1	1.2	543.8
Oficina 2	1.0	387.51
Oficina 3	1.0	387.51
Oficina 4	1.0	387.51
Oficina 5	1.0	387.51
Oficina 6	1.07	423.67
Oficina 7	1.55	625.15

Basada en los cálculos obtenidos (tabla 3) se hará la selección de los equipos como se especificará mas adelante.

Los resultados arrojados por ,el programa no son definitivos; cabe anotar que el diseñador debe regirse por las condiciones estándar de los equipos, así pues, podrá aproximar los datos y resultados obtenidos a las capacidades que ofrecen los fabricantes de estos equipos.

3.2 CALCULO DE LA TUBERIA DE AGUA

3.2.1 Sistemas de tuberías de agua.

a)De agua que circula una sola vez y de agua recirculada.

En los sistemas de agua que circula una sola vez, el agua pasa a través del aparato una sola vez y es descargada. En los sistemas de agua recirculada, el agua no se descarga, sino que circula en un circuito cerrado desde el intercambiador de calor hasta el aparato de refrigeración, volviendo de nuevo al intercambiador de calor.

b) Abierto y cerrado.

Los sistemas citados antes, también se dividen en abiertos o cerrados. El primero es aquel en que el agua circula por el interior de un depósito en comunicación con la atmósfera, como ocurre en las torres de enfriamiento y en los lavadores de aire.

El sistema cerrado es aquel donde el caudal de agua no está expuesto en ningún punto a la atmósfera. Por lo general contiene un depósito de expansión en comunicación con la atmósfera, siendo insignificante la superficie en contacto con ella.

c) Sistema de retorno de agua.

Las instalaciones de agua recirculada se clasificarán además según sea el sistema usado para el agua de retorno. Cuando dos o más unidades de sistema cerrado conectadas entre sí, puede usarse uno de los siguientes sistemas:

- Tubería de retorno inverso: Son recomendables si las unidades tienen la misma, o casi la misma, caída de presión a través de ellas. No pueden usarse en sistemas abiertos. Debido a que los circuitos de agua son iguales para cada unidad, la mayor ventaja de este

consiste en que raras veces es necesario equilibrarlo. La figura 5 es un esquema de este sistema.

- Colector de retorno inverso, con tramos de retorno directo: Este sistema es usado cuando no es muy practico y económico usar un sistema como el anterior. Los colectores de retorno pueden ser localizados en la cima del edificio y se usan tramos de retorno directo a las unidades. (Figura 6).

- Tubería de retorno directo: El caudal en este sistema no es el mismo para todas las unidades. La diferencia en el caudal depende de la caída de presión en la tubería de suministro y del retorno. Estas perdidas incluyen : perdidas en la tubería de retorno y suministro; perdidas a través de la unidad; y perdidas en las válvulas y acoplamientos. Este sistema es siempre desequilibrado y exige válvulas auxiliares o bocas y elementos para medir la caída de presión con el objetivo de medir el caudal (figura 7).

3.2.2 Proyecto de la Tubería de Agua

En cualquier tubo que circule agua, hay una pérdida de presión. Esta pérdida depende de los siguientes factores:

- Velocidad del agua
- Diámetro del tubo
- Rugosidad de la superficie interior.
- Longitud del tubo.

La presión que se utiliza en el sistema no tiene efecto sobre la pérdida total de carga a lo largo del sistema. Sin embargo las presiones más altas pueden determinar que

tipo de tubos se puede emplear, así como acoplamientos y tuberías.

3.2.3 Perdidas por Rozamiento en la Tubería

Las perdidas por rozamiento en una tubería de un sistema depende de la velocidad del agua, diámetro del tubo, rugosidad de la superficie interior y longitud del tubo.

En cuanto a la velocidad del agua, las recomendadas para tuberías de agua dependen de dos condiciones:

- El servicio para el que se va a utilizar la tubería
- Los efectos de la erosión.

La tabla 4 (tomada del manual de aire acondicionado de CARRIER) recomienda los valores de velocidad que deben usarse en los diferentes servicios. Los valores máximos indicados se basan en los niveles de sólido permisibles establecidos para agua en movimiento y el aire arrastrado, así como los efectos de la erosión.

TABLA 4. Velocidad recomendable del agua.

Servicio	Rango de velocidad (fps)
Descarga de la bomba	8 - 12
Aspiración de la bomba	4 - 7
Línea de desague	4 - 7
Colector o tubería principal	4 - 15
Tubo ascendente	3 - 10
Servicio general	5 - 10
Suministro de agua de ciudad	3 - 7

3.2.4 Calculo de Tuberías de Agua con el Programa

E20 II: Este programa determina el tamaño de la tubería y calcula las pérdidas por fricción en el sistema; a su vez, tiene un alto grado de flexibilidad y da al usuario la habilidad de investigar alternativas al mismo tiempo.

- Pasos básicos para el diseño.

Para analizar un sistema de tuberías de agua debe ser realizada una secuencia de entrada de datos y ciertos pasos de cálculo.

Estos pasos toman forma de opciones en el menú principal (Main Menú) que sale en pantalla al iniciar el programa (figura 8). Las tres primeras opciones del menú se usan para modificar los datos usados en el análisis de diseño; la cuarta opción se usa para calcular el tamaño de los tubos, pérdidas de presión e imprimir resultados.

- Menú de Materiales

El E20-II tiene disponibles tres tipos de materiales para tubos: acero, cobre y plástico. Los archivos de cada uno de estos contienen tamaños, accesorios y los datos de longitud equivalente respectivos.

Cuando se selecciona la primera opción del menú principal, se pueden alterar las características ya programadas de la tubería. También puede escogerse de que material va estar fabricada la tubería a utilizar.

En este proyecto se trabajo con los datos establecidos por el programa para tubería de plástico (PVC); una impresión de estos datos se encuentran mas adelante con el nombre de "Pipe Size File For Plastic".

- Menú de edición de parámetros de diseño

La opción dos del menú principal permite cambiar los parámetros prefijados en el programa. Para el proyecto se decidió modificar estos datos de acuerdo a recomendaciones del manual de Carrier (tabla 4). Esto es: usar una máxima velocidad en la tubería de 11 FPS para tamaños menores a dos pulgadas, con una temperatura promedio del fluido de 60°F.

- Menú de trabajo de diseño

La opción tres del menú principal permite introducir o editar un trabajo. Se deben tener en cuenta las intersecciones presentes en el circuito, además se recomienda llenar el "formato de entrada de datos de la tubería" (Pipe System Input Sheet) antes de introducirlos en el programa.

También se debe realizar un diagrama con el flujo que circulará por cada una de las secciones de la tubería y numerar cada una de las intersecciones. El flujo que circula por cada una de las tuberías se calcula de acuerdo a la siguiente formula:

$$\text{GPM} = (\text{TR} \cdot 24) / T$$

donde :

TR = Toneladas de refrigeración requeridas en los espacios

T = Variación de temperatura del agua en el sistema, por lo general varia entre 10 y 15°F, se asume 12°F

Según diagrama figura 9 :

TABLA 5. Flujo en las secciones

Sección	Flujo (GPM)
1	16

2	16
3	14
4	12
5	10
6	8
7	6
8	4
9	2
10	6

Sección	Flujo (GPM)
11	2
12	2
13	2
14	2
15	2
16	8
17	10
18	12
19	14
20	16

Con estos datos se llena el formato de entrada de datos, teniendo en cuenta las longitudes en el plano de la tubería.

Después de terminado el anterior paso se procede a introducir estos datos al programa. El proyecto de la tubería para el aire acondicionado del edificio se archivó con el nombre de BIENESTAR.

Al introducir los datos se pueden imprimir como se muestra en la impresión "Pipe Section DATA". En caso que se quieran usar esos datos ya almacenados simplemente se llama el archivo desde la pantalla de opciones. Esta impresión también muestra los datos de pérdida por fricción en los accesorios instalados en el sistema.

- Menú de cálculos

Opción cuatro (4) del menú principal calcula tamaños, pérdidas por fricción, velocidad y un estimativo de materiales.

Los datos pueden ser imprimidos, almacenados y modificados. Los diámetros de tubería pueden modificarse para llevarlos a tamaños comerciales o para aproximar las velocidades a los valores recomendados en la tabla 4.

Las siguientes impresiones muestran los resultados para el proyecto de tuberías del edificio de Bienestar Estudiantil; En estos se muestran los siguientes datos:

- Ä Temperatura promedio del fluido
- Ä Tamaño de la sección
- Ä Flujo y velocidad en la sección
- Ä Pérdidas por fricción en cada sección
- Ä Cabeza total del sistema
- Ä Volumen total del sistema

3.2.5 Tanque de Expansión

Los tanques de expansión son usados para mantener la presión del sistema, permitiendo al agua expandirse cuando esta aumente su temperatura, y proporcionando un método de adicionar agua al sistema. Por lo general se necesitan en sistemas cerrados.

Los tanques de expansión abiertos y cerrados son dos tipos usados en los sistemas de tubería . El primero está abierto a la atmósfera y localizado en el lado de succión de la bomba por encima de la unidad más alta del sistema (Figura 10).

TABLA 6. Expansión del agua (CARRIER)

Temperatura °F	Incremento Volumen %	Temperatura °F	Incremento Volumen %
100	0.6	275	6.80
125	1.2	300	8.30
150	1.8	325	9.80
175	2.8	350	11.5
200	3.5	375	13.0
225	4.5	400	15.0
250	5.6	-	-

$$\begin{aligned} \text{Volumen Tanque Expansión} &= (1 + E) \times v_s \Rightarrow E \text{ (tabla 6)} \\ &= 1.006 \times 7.10 = 7.14 \text{ Gal.} \end{aligned}$$

$$\text{Volumen Tanque Expansión} = 0.030 \text{ m}^3$$

3.2.6 Selección de la bomba

El programa E20-II calculó los siguientes datos:

Ä Cabeza total de fricción en el sistema: 88.73 ft.H₂O

Ä Volumen total de fluido en el sistema: 7.1 Gal.

Ä Caudal requerido: 16 GPM.

Con estos datos se selecciona en la curva característica una bomba, en este caso del catálogo de bombas IHM (anexo J). En dicha curva se hallará también, el NPSH (Net Positive Suction Head) requerido.

Según los datos para el sistema en referencia una bomba IHM modelo 1A-³/₄ (ver figura 11) cumple con las exigencias. La bomba 1A-³/₄ posee las siguientes especificaciones:

Modelo	Diámetro Impeler	Succión	Descarga	R.P.M.	NPSH req.	Sello
1A- ³ / ₄	122 mm	1 ¹ / ₄ "	1"	3500	4	Mec.

Para asegurar aún mas la selección de la bomba se procederá a calcular el NPSH disponible del sistema; como es bien sabido este debe ser mayor al requerido por la bomba.

En el cálculo del NPSH disponible necesitaremos de un isométrico del sistema; en la figura 12 está la representación del mismo.

Se halla la presión en el punto 1:

$$P_1 = (S_g \cdot H_1) / 2.31$$

Donde:

S_g = Gravedad específica del agua a 30°C (anexo N).

H_1 = Cabeza estática en el punto 1 (ft).

$$P_1 = (0.996 \times 7.9) / 2.31 = 3.41 \text{ Psi.}$$

Haciendo Bernoulli entre el punto 1 y 2, obtenemos la presión en el punto 2 (a la entrada de la bomba)

$$P_1/w + v_1^2/2g - H_{f1-2} + Z_1 = P_2/w + v_2^2/2g + Z_2$$

Los dos puntos se encuentran al mismo nivel, por tanto las elevaciones se anulan. Las velocidades en los puntos (lo mismo que las pérdidas por fricción entre 1 y 2) se obtienen de los resultados arrojados por el programa; estas son:

$$v_1 = 10.15 \text{ fps}$$

$$v_2 = 4.18 \text{ fps}$$

$$H_{f1-2} = 1.62 \text{ ft.H}_2\text{O}$$

$$P_2/w = P_1/w + (v_1^2 - v_2^2)/2g - H_{f1-2}$$

$$P_2/w = 7.9 + (10.15^2 - 4.18^2)/64.4 - 1.62$$

$$P_2/w = 7.61 \text{ ft.H}_2\text{O}$$

$$P_2 = 3.3 \text{ Psi}$$

Tenemos que el NPSH disponible de un sistema se obtiene con la fórmula:

$$(\text{NPSH})_D = (P_a/w - P_{\text{vapor}}/w) + v_a^2/2g$$

Donde:

P_a = Presión en la succión de la bomba, en este caso P_2
(Psi)

P_{vapor} = Presión de vapor del fluido a la temperatura de
30°C tomada como crítica (anexo N)

v_a = Velocidad en la succión de la bomba fps.

$$(\text{NPSH})_D = [(3.3 - 0.6)/0.996](2.31) + 4.18^2/(2 \times 32.2)$$

$$(\text{NPSH})_D = 6.26 + 0.27$$

$$\mathbf{(\text{NPSH})_D = 6.53 \text{ ft}}$$

Comparando este dato con el requerido por la bomba, se concluye que esta no cavitará:

$$(\text{NPSH})_D > (\text{NPSH})_{\text{Req}}$$

$$6.53 > 4$$

La eficiencia con la que trabajará la bomba se calcula así:

$$\eta = (Q \cdot H_t \cdot S_g) / [(BHP) \cdot (3960)]$$

Donde:

Q = Caudal total = 16 GPM

H_t = Cabeza total del sistema = 88.73 ft.H₂O

S_g = Gravedad específica = 0.996 (anexo N)

BHP = Potencia al freno = ³/₄ HP (anexo J)

3960 = Factor de conversión

$$\eta = (16 \times 88.73 \times 0.996) / [(\frac{3}{4}) (3960)]$$

$$\eta = 48 \%$$

Por último, la norma API 610 establece que la potencia del motor de la bomba es 1.25 veces la potencia al freno de la misma. Esto es válido hasta potencias de 25 BHP.

$$P_{\text{BHP}} = \frac{3}{4} \text{ HP}$$
$$H_{\text{p}_{\text{motor}}} = (1.25) \times (\frac{3}{4}) = 1 \text{ HP}$$

3.2.7 Espesor del Aislante Térmico de la Tubería: En los sistemas de refrigeración son importantes los aislamientos que se le instalen al sistema de tuberías; los productos de uso más frecuente son el vidrio celular, la fibra de vidrio y los plásticos de poliuretano. Las barreras de vapor son usadas en instalaciones a temperatura inferior a la ambiente, ya que sellan el aislamiento evitando retorno de aire y vapor de agua a las células que lo componen.

Para aislar tuberías, el producto más usado es el poliuretano expandido en forma de cañuelas premoldeadas eficientes para aplicar a varios tamaños de tubería, conexiones y accesorios existentes. Su conductividad crítica es 0.17 BTU/hr.ft².°F por pulgada de espesor. Como barrera de vapor se utilizará Foil de aluminio, cubierta con impermeabilizante en los tramos expuestos al ambiente.

- Calculo espesor crítico

Para el calculo del espesor crítico se considerará un tubo con capas sucesivas de aislamiento cilíndrico (figura 13), la máxima pérdida de calor se da cuando $r = r_c$; es decir cuando el radio es igual al radio crítico. Este se halla con la siguiente fórmula:

$$r_c = k/h_{prom}$$

donde: r_c = radio crítico

k = Conductividad térmica Aislamiento.

h_{prom} = Coeficiente convectivo de transferencia de calor promedio en el aire.

Este último se calcula:

$$h_{prom} = (Nu_{prom}) \times k_1 / L$$

donde :

Nu_{prom} = Gradiente de temperatura promedio adimensional del aire

k_1 = Conductividad térmica del aire

L = Longitud de la tubería

Entonces: $Nu_{prom} = 0.59 (R_{al})^{0.25}$, si $10^4 < R_{al} < 10^9$

$Nu_{prom} = 0.1 (R_{al})^{0.25}$, si $10^9 < R_{al} < 10^{12}$

Donde :

R_{al} = Numero Rayleigh y es igual a $R_{al} = G_R \cdot P_R$

G_R = Numero de Grashof

P_R = Numero de Prandlt

El número de Grashof se obtiene de la siguiente manera:

$$G_R = (g \cdot B \cdot L^3 \cdot \Delta T) / \gamma^2$$

donde:

g = aceleración gravitacional

B = Coeficiente de expansión térmica

ΔT = Diferencia de temperatura

γ = Viscosidad cinemática a la temperatura
filénica

$$\Rightarrow B = 1/T_{\infty} = 1/550 = 1.818 \times 10^{-3} \text{ 1/}^{\circ}\text{R}$$

T_{∞} = Temperatura absoluta del aire

$$\Rightarrow \Delta T = T_{\infty} - T_w = 90 - 45 = 45^{\circ}\text{F}$$

T_w = Temperatura salida del chiller

$$\Rightarrow T_f = (T_{\infty} + T_w)/2 = 67.5^{\circ}\text{F} \text{ Temperatura filénica del aire.}$$

La viscosidad cinemática del aire a 67.5°F es de:

$$\gamma = 1.65 \times 10^{-4} \text{ ft}^2/\text{s} \quad (\text{Anexo K})$$

Por lo tanto

$$G_r = 96.76 \times 10^6$$

El número de Prandlt se toma de la tabla 7 y es igual a

$$P_r = 0.74$$

Entonces

$$R_{al} = 96.76 \times 10^6 \times 0.74$$

$$R_{al} = 71.6 \times 10^6$$

$$Nu_{prom} = 0.59 \times (71.6 \times 10^6)^{0.25}$$

$$Nu_{prom} = 54.27$$

La conductividad térmica del aire a 67.5°F es:

$$K_1 = 0.014848 \quad (\text{Ver anexo L})$$

$$h_{prom} = (54.27 \times 0.014848)/1\text{ft} = 0.80\text{BTU/hr.ft.}^{\circ}\text{F}$$

Con esto, el radio crítico será:

$$r_{cr} = 017/0.8 = 0.2125 \text{ ft}$$

$$r_{rc} = 2.5 \text{ pulg}$$

El espesor crítico para el aislamiento será:

$$e = r_{cr} - r_{ext}$$

donde:

r_{ext} = radio exterior de la tubería

Para las tuberías empleadas en el sistema tratado los espesores serán los siguientes:

Diámetro (in)	r_{ext} (in)	e (in)
1/2	0.50	2
3/4	0.75	2
1	1	2
1 ¹ / ₄	1.25	2

Los espesores numerados antes son llevados a valores comerciales.

Tabla 7. Número de Prandtl para gases

Gas	C_{μ}/K
Aire	0.74
Amoníaco	0.78
Bióxido de azufre	0.80
Bióxido de carbono	0.84
Etileno	0.83
Hidrógeno	0.74
Metano	0.79
Monóxido de carbono	0.74
Nitrógeno	0.74
Oxígeno	0.74
Sulfuro de hidrógeno	0.77
Vapor de agua	0.78

3.3 SELECCION Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS EQUIPOS.

Se escogió el sistema de agua helada debido a que las oficinas son de uso intermitente, esto es, posiblemente no se ocupen todas al mismo tiempo, por lo cual resulta más económico instalar este tipo de sistema a pesar de su elevado costo inicial. Cada oficina tendrá su control independiente para el aire acondicionado, con lo que se

reducen los costos de energía a no estar trabajando las unidades de oficinas desocupadas.

3.3.1 Unidades serpentín-ventilador.

Por las características de los espacios, se diseñó la instalación de unidades de Fan-Coil para cada recinto. Su compacto diseño permite seleccionar fácilmente el sitio de instalación, ya sea suspendido en la placa, dentro de cielos falsos o en closets.

Componentes y características:

- Ventiladores centrífugos de acople directo de gran capacidad de aire y disponibilidad estática.
- Motores eléctricos de múltiples velocidades.
- Serpentes de gran capacidad para remover el calor y la humedad del aire.
- Bandeja colectora de condensado.
- Gavinete fabricado en lámina galvanizada de grueso calibre.

Selección:

De acuerdo a los datos arrojados por el programa E20-II de cálculo de carga térmica se tienen los siguientes requerimientos:

TABLA 8. Capacidad nominal del sistema

Espacio Oficina	Tipo de equipo	Capacidad TR Nominal	Cantidad	Suministro nominal de aire CFM	Flujo de agua helada GPM
1	Fan-coil	1	1	400	2
2	Fan-coil	1	1	400	2
3	Fan-coil	1	1	400	2
4	Fan-coil	1	1	400	2
5	Fan-coil	1	1	400	2
6	Fan-coil	1	1	400	2
7	Fan-coil	2	1	800	4

Por datos de catálogos de Fan-Coils se encuentra que es factible usar Fan-Coils de 1 T.R. para las oficinas 1,2,3,4,5 y 6, y para la oficina 7 de dos T.R.

Como se aprecia en las especificaciones de la tabla 9, pueden cumplir con las exigencias tanto de CFM a alta velocidad, como de carga térmica a una presión de 0.1 in water.

TABLA 9 Rendimiento del ventilador

Unidad	Velocidad	Flujo de aire PCM a presión estática externa (pulg. agua)					
UTH-CW	Motor	0.0	0.05	0.1	0.15	0.20	0.25
400	Alta	530	470	440	405	365	280
800	Alta	870	840	785	760	710	700

3.3.2 Unidades enfriadoras de agua

De la tabla 8 se determina que la capacidad de enfriamiento total de las oficinas del edificio de bienestar estudiantil es de ocho (8) toneladas de refrigeración.

Para satisfacer este requerimiento se necesitan dos enfriadores de agua de cuatro (4) toneladas de refrigeración. Las características de este equipo se especifican en el anexo I. Este equipo funciona con Refrigerante R-22.

3.3.3 Instalación eléctrica: Todo sistema de aire acondicionado debe tener un circuito eléctrico de potencia y uno de control. El circuito de potencia maneja la alimentación de corriente a los diversos motores del equipo. El circuito de control regula y protege la secuencia de accionamiento de las bobinas que alimentan los motores.

El circuito de potencia consta de las líneas de alimentación, las bobinas de accionamiento y los motores.

El circuito de control consta de temporizadores, fusibles, presostatos, termostatos, válvulas solenoides, switches de alta y baja presión, y otros dispositivos mas.

Estos circuitos mostrados en los planos generales de la instalación y esquemáticamente en la figura 14.

4. MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES

Es bien sabido que un buen programa de mantenimiento preventivo equivale a economizar dinero. La mayor parte de estos programas se llevan acabo dos veces al año; con estas inspecciones es suficiente para que el equipo trabaje en perfectas condiciones todo el año. Se recomienda realizar una inspección en cada estación, es decir, una en invierno y otra en verano.

4.1 UNIDAD CONDENSADORA

De camino a la unidad condensadora externa, obsérvese sus alrededores y límpiase el área que circunda la unidad condensador; cerca de tres (3) pies a la redonda, esto con el fin de evitar obstrucciones de la unidad. Acto seguido, desconectar la fuente de energía.

Remuévanse los tableros de acceso al mantenimiento y la parte superior de la unidad, si está diseñada de esta forma. Deberán verse el motor del ventilador y la cuchilla, el compresor, la bobina del condensador y los otros componentes. Cúbrase el motor del ventilador del condensador con un plástico para asegurarse de que no le entre agua al motor. Colóquese una boquilla en la

manguera del agua. No se dirija la salida de agua con demasiada presión o se doblarán las aletas de aluminio de la bobina del condensador. Empiécese desde adentro de la unidad, dirigiendo el agua, a través de la bobina, hacia la parte externa de la unidad. La suciedad será expulsada de la bobina por la presión del agua. Luego lávese la bobina en la dirección inversa. Este es el motivo por el que debe cubrirse el motor. Si la bobina está verdaderamente sucia, aplíquese en este momento un detergente con la ayuda de un atomizador, déjese el detergente en la bobina durante el tiempo suficiente para que haya efecto, ambos lados de la bobina deben empaparse en detergente.

Lávese el detergente de la bobina con la manguera de agua, de adentro hacia afuera y asegúrese de que la bobina quede bien limpia.

En vez limpia la bobina del condensador este limpia, destápese el motor. Examínese el motor con cuidado. Si hay aceiteras, colóquese algunas gotas de aceite para motor eléctrico en cada aceitera. Sino se dispone de aceite para motor eléctrico, utilícese aceite para motor 30, no detergente. Las aceiteras pueden cubrirse con plástico o con una tapa elástica.

Debe utilizarse grasa a prueba de agua en el eje del ventilador, para preservarlo de la oxidación y para que pueda retirarse fácilmente en caso de necesidad. Examínense visualmente el receptor, el acumulador, los secadores y cualquier otro componente de acero, para estar seguro de que no hay señales de oxidación y deterioro. Es conveniente pintar con una buena pintura epóxica.

4.2 EL COMPRESOR

Abrase la caja terminal del compresor y examínese si el alambrado está ajustado. Hay que asegurarse de que las conexiones estén bien apretados. Debe utilizarse un producto atomizado para quitar la humedad y para cubrir el metal con una capa protectora. Hay que asegurarse de que el producto esté aprobado para uso de circuitos eléctricos. Debe ser un material no conductor.

Después de remplazar la cubierta del terminal en el compresor abrase el tablero de control de la unidad. Examínese si todas las conexiones están ajustadas. Rocíense los componentes del tablero con una capa abundante. Vuélvase a colocar la tapa en el tablero de control, lo mismo que los paneles de acceso.

Colóquense el múltiple de servicio y los relojes en las entradas de la válvula para tomar la lectura de presión. Colóquese la unidad en la posición de refrigeración. Se debe esperar algunos minutos hasta que se seque el agua que pudiera haber quedado en la bobina. Tómense las lecturas de presión y regístrense en el papel. Sería aconsejable que se encontrara dentro de los márgenes normales de la temperatura ambiental el día en que se está haciendo la limpieza.

4.3 EL EVAPORADOR

Esta parte del sistema requerirá de atención especial de acuerdo con el sitio donde se localice. Si un tratante

de aire se halla en un desván, encima de un cielo raso terminado, el daño del agua originado por el rebosamiento de las bandejas de condensación durante el proceso de mantenimiento puede ser grave.

El empleo de una manguera de agua no sería aconsejable en esta situación. Un contenedor presurizado es el adecuado para este trabajo. Este tipo de atomizador debe utilizarse primero con el detergente, luego debe lavarse con agua limpia, y utilizarse para enjuagar la bobina del evaporador. De esta forma puede controlarse la cantidad de agua dando tiempo a que el desagüe condensado saque el agua sobrante.

El primer paso que debe darse cuando se trabaja con la sección evaporadora, es remover las tapas de acceso. Si es necesario, cúbrase el ventilador de conducción del evaporador con plástico. Límpiase la bobina del evaporador de la misma forma que la bobina externa del condensador. La bobina del evaporador podría estar muy llena de suciedad concentrada que se aloja profundamente en las aletas de la bobina. Con la ayuda de una lámpara de extensión colocada en un lado de la bobina, desde la cual se mirará al otro lado, se verá inmediatamente si la bobina esté sucia y donde. La luz brillará y podrá verse por donde pasa el aire a través de la bobina. En los sitios solamente donde la luz no alumbre, será necesaria una limpieza adicional debido a la obstrucción. Muchas veces, cuando se examinan las presiones de funcionamiento de la unidad condensadora, una lectura de baja presión se interpreta como un nivel bajo de refrigerante. La unidad debe examinarse primero en cuanto a la obstrucción del filtro o de la bobina, antes de agregar cualquier refrigerante al sistema. Si está sobrecargado, el

sistema tiene más de una posibilidad de dañar el compresor con el golpeteo del refrigerante.

Con frecuencia se observa que las unidades que han estado funcionando durante cierto tiempo, tienen sucios los ventiladores de jaula de ardilla. La curvatura de cada aleta individual puede llegar a llenarse de polvo y suciedad. Sería necesario remover de la unidad el montaje del ventilador para facilitar el mantenimiento. Podrá suceder que la manguera deba utilizarse por fuera de la estructura. Si se trata de limpiar el ventilador de la unidad, téngase mucho cuidado cuando se limpie y cuando se prenda la unidad después de la limpieza. Cualquier polvo o suciedad que queda podría salir por la rejilla y ensuciar los muebles del local refrigerado. Colóquese algo en el lado de descarga del fan-coil, para recoger toda suciedad que pudiese salir volando.

De acuerdo con la forma como se monte el motor de conducción, este deberá aceitarse con el mismo aceite que se utilizó en el motor de conducción del ventilador del condensador. Algunos motores están sellados y no necesitan lubricación. Examínese minuciosamente para asegurarse. Si se utiliza una correa de transmisión, debe examinarse con cuidado. Examínese los bordes para verificar que no halla cristalización. Compruébese que no halla rompimientos ni señales de deterioro por podredumbre seca, ni por distensión de la envoltura de la estructura. Al doblar una correa con las manos se romperá si hay herrumbre seca en ella. En caso de duda, cámbiese.

4.4 EL TERMOSTATO

Lo último que se debe revisar es el termostato. Este debe revisarse en cuanto al nivel y en cuanto a la perpendicularidad, sea que se trate de uno cuadrado o uno redondo.

Las sub-bases del termostato tienden en algunas instalaciones a aflojarse y a desajustarse la calibración. Esto sucede por las vibraciones de la pared, porque una persona está prendiendo y apagando los interruptores y cambiando las posiciones de temperatura.

El procedimiento completo deberá tomar un par de horas, dependiendo de la suciedad del sistema. Lógicamente que este tipo puede reducirse a una hora si los elementos se encuentran en lugares accesibles.

4.5 RED HIDRAULICA

A continuación se establecerá algunas pautas para mantener en buenas condiciones la red de distribución de agua helada y sus accesorios.

- Verificar el adecuado funcionamiento de los controles de presión y temperatura.
- Revisión general de la línea para buscar fugas que puedan dañar el aislante.
- Limpiar los filtros y mallas dos veces al año y cambiarlos si es necesario.
- Limpiar el tanque de expansión con agua y detergente suave; realizar esto mensualmente.

- Las válvulas deben ser calibradas al caudal constante establecido para el sistema. A su vez deben ser lubricadas con grasa.

Para el sistema de bombeo se recomienda lo siguiente:

- Verificar la alineación, que no exceda de 0.003 pulgadas de desalineamiento.
- Inspeccionar la caja de la bomba y el impulsor. Esta labor puede realizarse en un tiempo estipulado por el régimen de trabajo, de acuerdo a lo recomendado por el fabricante de la bomba.
- Lubricar los cojinetes y bujes.
- Limpiar el motor y verificar que no haya cuerpos extraños. Chequear que las partes internas estén en posición correcta.
- Revisar y calibrar los manómetros.

4.6 LOCALIZACION DE FALLAS

4.6.1 Unidad Condensadora y Evaporadora que no funcionan:

Si la unidad deja de funcionar, hágase girar el interruptor de la sub-base de control del ventilador y la posición de función constante. Si el ventilador funciona es porque hay bajo voltaje en el sistema. Sino funciona, no hay voltaje en el sistema. Examínese el transformador en cuanto al voltaje secundario. Sino se presenta, examínese el primario.

No	hay	voltaje	Examínese	el	fusible	que
----	-----	---------	-----------	----	---------	-----

primario.	provee a la unidad.
No hay voltaje secundario	Transformador dañado.
Voltaje primario y secundarios presentes.	Examínese la sub-base del termostato para 24 voltios
Hay voltaje en la sub-base.	Cambie la sub-base y el termostato.
No hay voltaje en la sub-base.	Contrólese el alambrado defectuoso que va del transformador al termostato.

4.6.2 Sección evaporadora que sopla aire caliente:

Examínese la unidad condensadora para ver si está funcionando. Colóquese una mano en la línea de líquido y la otra en la línea de succión. Si el ventilador del condensador está funcionando y si no hay diferencia de temperatura de las dos líneas, el compresor no está funcionando. Si el motor del ventilador no está funcionando, examínese el voltaje de línea y el bajo voltaje del tablero de control. Se debe determinar si el problema está en la línea de voltaje o un bajo voltaje. Si hay voltaje de línea y no hay bajo voltaje no funcionará nada.

No hay voltaje de línea	Examínense los fusibles en cuanto al voltaje de suministro a la unidad condensadora.
No hay bajo voltaje.	Si lo hay a través del termostato, está abierto un alambre que va desde el termostato hasta la unidad condensadora.
Ambos voltajes están presentes.	El contactor del compresor actúa como interruptor en la mayor parte de las unidades, para dar energía al ventilador y al compresor. Revísense las bobinas de retención, para determinar si están en mal estado o con

	contactos defectuosos.
El ventilador funciona mas no el compresor.	Examínese la caja terminal del compresor para asegurarse de que haya voltaje en el compresor. Podría tratarse de un alambre quemado o de un compresor dañado. Un compresor recalentado podría haber abierto un relé de sobrecarga

Colóquese el múltiple de carga de los calibradores en las válvulas de entrada. Si las presiones están bajas cuando la unidad está apagada podría tratarse de un problema de refrigerante. Este podría ser el motivo por el que le falte gas de succión de enfriamiento a un compresor recalentado. Desconéctese el múltiple de servicio. Con el ohmímetro, pruébese la continuidad de todos los controles que conducen a la bobina de mantenimiento del contactor del compresor. Es frecuente encontrar un interruptor de control que se ha abierto y que ha fallado al volver a cerrarse. El control se daña bien por el uso o por defecto de fabricación.

Si se encuentra una unidad sin refrigerante y si la prueba de escape muestra que se encuentra abierta una válvula de alivio de presión, o que una línea está rota, además de que hay un control de alta presión que está abierto algo debe andar mal. No se repare solamente el escape: cárguese la unidad y póngase a funcionar.

4.6.3 la unidad condensadora y la sección evaporadora en funcionamiento: Aunque todo parezca estar funcionando de acuerdo a las especificaciones se presenta el problema de la refrigeración insuficiente y hielo en la línea de succión.

- Apáguese la unidad inmediatamente de manera que pueda descongelarse. Si el aire que pasa por la bobina evaporadora es insuficiente, examínese para detectar una obstrucción, o suciedad en la bobina evaporadora o en el filtro.

- Después de que la unidad se ha descongelado y esto podría ser al día siguiente, colóquese en la unidad el múltiple de carga y los calibradores. Examínese cuidadosamente la presión del lado bajo. Si hay carga baja de refrigerante, el evaporador empezará a congelar desde el dispositivo de medición y de nuevo al compresor. Esto sucede, naturalmente, después de un cierto periodo de tiempo.

- Un dispositivo de medición que se encuentra defectuoso, puede causar el mismo problema. Si se suministra refrigerante insuficiente a la bobina, podría presentarse un congelamiento.

- Un secador de línea líquida obstruido, también, podría causar congelamiento.

- Otra posibilidad es el suministro de aire obstruido por los reguladores del lugar refrigerado, localizados detrás de la parrilla de suministro de aire. Hay veces en que las personas entran al lugar refrigerado y sienten frío por lo cual estrangulan el regulador y luego se desentienden. Si se estrangula bastante aire, la unidad podría congelarse.

- Una operación intermitente del ventilador del evaporador causaría el congelamiento. El mismo tipo de

prueba se requiere en este caso, lo mismo que con el motor del ventilador externo.

4.6.4 Fusible fundido o interruptor de circuito disparado: Primero que todo debe utilizarse el ohmímetro para examinar la continuidad de la conexión a tierra de la unidad.

Al examinar la conexión a tierra en ambas secciones, deben abrirse las desconexiones con la fuente de energía. Y esto evita que ocurra cualquier accidente o retroalimentación de energía.

Hay ocasiones en que solo un fusible se quema y deja que la electricidad fluya a través del fusible bueno. Hecha la desconexión, verifíquese el lado de carga del circuito que va a probarse.

En el caso de la unidad condensadora, examínese el contactor del compresor. Si se indica una conexión a tierra, todos los circuitos deben aislarse, incluyendo el compresor, el motor del ventilador del condensador, el calentador del cárter y cualquier otro artefacto eléctrico que pueda alumbrarse a la unidad. Esto también se le aplica a la sección evaporadora cuando se le prueba.

Otro motivo por el cual se quema una fuente de energía es un circuito sobrecargado. La demanda excede la proporción del artefacto de protección.

5. PRESUPUESTO DE MONTAJE

PRESUPUESTO DE MONTAJE DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA EL EDIFICIO DE BIENESTAR ESTUDIANTIL

MANO DE OBRA

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT	VLR UNIT	VLR PARCIAL
1	MONTAJE DE LAS UNIDADES ENFRIADORAS DE AGUA	UND	2	250.000	500.000
2	MONTAJE DE UNIDADES SERPENTIN VENTILADOR AGUA FRIA	UND	7	70.000	490.000
3	MONTAJE DE LAS BOMBAS	UND	2	130.000	260.000
4	MONTAJE DEL SISTEMA DE TUBERIA DE AGUA HELADA	ML	103	2.500	257.500
5	MANO DE OBRA PARTE ELECTRICA	GLB	1	100.000	100.000
				TOTAL	1.607.500

COSTO TOTAL

MATERIALES Y EQUIPOS	15.215.000
MANO DE OBRA	1.607.500
IMPREVISTOS	841.125
TOTAL SIN I.V.A.	17.663.625
I.V.A (16 %)	2.826.180
GRAN TOTAL	20.489.805

SON: VEINTE MILLONES CUATROCIENTOS OCHENTA Y NUEVE MIL OCHOCIENTOS CINCO PESOS M/CTE.

NOTA: PRESUPUESTO CON VALORES VIGENTES A MAYO DE 1.996

RECOMENDACIONES

La ASHRAE recomienda colocar el tanque de expansión a una altura mínima de 1.2 metros sobre el nivel del eje de la bomba. Cabe anotar que entre más alto esté el tanque menor posibilidad habrá de que cavite la bomba.

El cálculo del NPSH disponible en el sistema se hace obligatorio para verificar el buen funcionamiento de la bomba.

El agua de alimentación o del sistema debe estar lo más limpia posible para evitar incrustaciones y posibles daños en la bomba.

Todas las instalaciones eléctricas, tanto de potencia como de control deben llevar sus sistemas de protección.

CONCLUSIONES

Para condicionar un espacio se requiere un análisis minucioso de todas las fuentes de calor al igual que las variaciones del clima que afectan la carga térmica que debe calcularse para poder hacer una selección correcta de los equipos encargados de realizar la labor de acondicionar el aire.

La exactitud y precisión de los resultados arrojados por el programa de Carrier Corporation (E20-II) nos permiten hacer un diseño muy ajustado a la realidad, lo que implica bajar los riesgos de hacer un diseño sobredimensionado y aumentar así los costos o de hacer un diseño subdimensionado y no funcional.

Los altos costos de los equipos de refrigeración y aire acondicionado hace obligatoria una política de mantenimiento preventivo y control de operaciones que no permita el deterioro de los equipos ni daños por sobrecarga del sistema.

Para el cálculo del NPSH disponible del sistema se consideró como temperatura crítica 30°C (Temperatura

ambiente), porque esta temperatura es la que tiene el equipo al arrancar.

Para finalizar, la conclusión mas importante es que la CUTB no requiere de los servicios de las empresas del ramo que prestan estos servicios, pues ya los estudiantes están capacitados para realizar cualquier diseño e instalación en cuanto a aire acondicionado se refiere, y todo esto gracias al gran desarrollo que ha tenido esta área a partir de la ejecución y práctica del laboratorio de refrigeración y aire acondicionado que la institución ha implementado.

BIBLIOGRAFIA

ASHRAE. American society of heating, Refrigerating and air conditioning. Editorial George. Segunda edición. USA 1.971.

CARRIER. Manual de aire acondicionado. Editorial barcelona. Sexta edición. USA 1.951.

CARRIER. Software systems E20-II. Editorial barcelona. Primera edición. USA 1.993.

FAIRBANKS MORSE & Co. Hidraulic Handbook. Fairbanks Morse & Co. Tercera edición. Kansas City. 1.960

FISCHER, Roger CHERNOFF, Ken. Aire acondicionado y refrigeración, reparación y mantenimiento. Edit. Mc Graw Hill. Primera edición. México 1.996.

KERN, Donald Q. Procesos de transferencia de calor. Compañia editorial continental S. A. Primera edición. Mexico 1.978.

MC NAUGHTON, Kenneth J. bBombas, selección, uso y mantenimiento. Editorial Mc Graw Hill. México 1.992.

**ANEXO A. FORMATO PARA CALCULO MANUAL DE LA CARGA
TERMICA.**

**ANEXO B. COEFICIENTES DE TRANSMISION U PARA
MATERIALES DE CONSTRUCCION EMPLEADOS EN
PARTICIONES.**

**ANEXO C. COEFICIENTES DE TRANSMISION U PARA
CIELOS RASOS, TECHOS Y PISOS.**

**ANEXO D. RESISTENCIA TERMICA PARA LOS DIFERENTES
MATERIALES DE CONSTRUCCION**

ANEXO E. INFILTRACIONES POR PUERTAS Y VENTANAS

**ANEXO F. FACTORES DE VIDRIO PARA GANANCIAS DE
CALOR SOLAR A TRAVÉS DE VENTANAS.**

**ANEXO G. CONDICIONES INTERIORES DE DISEÑO
RECOMENDADAS**

**ANEXO H. VALORE USUALES DE FACTORES DE BY-PASS
PARA DIFERENTES APLICACIONES.**

ANEXO I. CATALOGOS DE FAN-COILS Y CHILLERS

ANEXO J. CATALOGO DE LA BOMBA

**ANEXO K. VISCOSIDAD CINEMATICA DE ALGUNOS GASES Y
LIQUIDOS.**

**ANEXO L. CONDUCTIVIDADES TERMICAS DE GASES Y
VAPORES.**

**ANEXO M. FORMATO PARA LA INTRODUCCION DE DATOS AL
PROGRAMA DE CALCULO DE TUBERIA**

ANEXO N. PROPIEDADES DEL AGUA