



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN**

**“ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE UN  
SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

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

**FRANCISCO JAVIER LUNA LÓPEZ**



**ASESOR: ING. ALFREDO MONTAÑO SERRANO**

*México 2012*



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.

*A MIS PADRES:*

*SR. GILBERTO LUNA AGUILAR*

*Y*

*SRA. CAROLINA LÓPEZ BECERRIL*

## INDICE

PROLOGO.....	6
--------------	---

### PARTE I

#### DESCRIPCION DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

#### EQUIPOS DENTRO DE LA PLANTA DE AGUA HELADA

<b>CAPITULO 1. INTRODUCCION.....</b>	<b>7</b>
1.1 Objetivo.....	7
1.2 Justificación técnico-económica.....	7
1.3 Descripción del ciclo de refrigeración.....	8
1.3.1 Funcionamiento del ciclo de refrigeración.....	9
1.4 Sistemas de aire acondicionado.....	9
<b>CAPITULO 2. MAQUINA CENTRIFUGA DE REFRIGERACION.....</b>	<b>11</b>
2.1 Componentes del sistema de refrigeración del chiller.....	11
2.2 Condensador.....	12
2.3 Evaporador.....	14
2.4 Compresor.....	16
2.4.1 Compuertas de prerrotación del compresor.....	19
2.4.2 Sistema de lubricación del compresor.....	21
2.5 Calentador de aceite.....	23
2.6 Bomba de aceite.....	25
2.7 Cámara de control de flujo de refrigerante.....	27
<b>CAPITULO 3. VARIADORES DE FRECUENCIA.....</b>	<b>30</b>
3.1 Descripción y tipos de variadores de frecuencia.....	30
3.2 Sistema de ahorro de energía.....	32
3.3 Operación de la planta de la planta de agua helada.....	34
3.4 Pantallas de configuración del sistema de ahorro de energía.....	35
3.4.1 Vista general.....	38
3.4.2 Circuito de agua helada.....	40
3.4.3 Circuito de agua condensada.....	41
3.4.4 Ventanas pop-ups.....	42
3.4.5 Alarmas.....	44

<b>CAPITULO 4. SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA.....</b>	<b>45</b>
4.1 Definición y componentes de las bombas centrífugas.....	45
4.1.1 Rodetes.....	46
4.1.2 Accionamiento.....	47
4.1.3 Anillos de desgaste.....	48
4.1.4 Prensaestopas.....	48
4.1.5 Sello mecánico.....	49
4.3 Materiales.....	49
4.4 Sistema de bombeo de agua de condensación.....	51
4.5 Torres de enfriamiento.....	54
4.5.1 Alimentación de agua.....	55
4.5.2 Regulación.....	55
4.5.3 Sistema de recirculación de agua.....	56
4.5.4 Reposición de agua.....	58
4.5.5 Ubicación de la torre de enfriamiento.....	58
4.6 Sistema de bombeo de agua helada.....	59
4.6.1 Sistema primario de agua helada.....	59
4.6.2 Sistema secundario de agua helada.....	62
4.6.3 Controlador del sistema secundario de agua helada.....	64

## **EQUIPOS FUERA DE LA PLANTA DE AGUA HELADA**

<b>CAPITULO 5. INTERCAMBIADORES DE CALOR.....</b>	<b>66</b>
5.1 Definición de los intercambiadores de calor.....	66
5.2 Juntas de un intercambiador de placas- bastidor.....	68
5.3 Disposición de placas y flujo del intercambiador de placas-bastidor.....	68
5.4 Arreglo de las tuberías de un intercambiador de calor de placas- bastidor.....	71
<b>CAPITULO 6. UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE.....</b>	<b>72</b>
6.1 Definición de unidades manejadoras de aire.....	72
6.2 Sistemas que utilizan solo aire.....	72
6.3 Sistemas mixtos aire-agua.....	72
6.4 Sistemas que utilizan sólo agua.....	73
6.5 Funcionamiento de las unidades manejadoras de aire.....	75
<b>CAPITULO 7. DUCTOS Y DIFUSORES.....</b>	<b>79</b>
7.1 Ductos.....	79
7.1.1 Clasificación.....	79
7.1.2 Velocidad y presión.....	79
7.1.3 Ganancias o pérdidas de calor.....	80
7.1.4 Transformaciones en los ductos.....	80
7.1.5 Reducción de dimensiones en los ductos.....	81
7.1.6 Obstáculos.....	82

7.2 Codos.....	82
7.3 Derivaciones.....	84
7.4 Tipos de materiales el ducto.....	85
7.4.1 Aislamiento térmico.....	86
7.4.2 forro flexible de fibra de vidrio.....	86
7.4.3 Forro rígido de fibra de vidrio.....	86
7.4.4 Espiroducto de fibra de vidrio.....	87
7.5 Difusores.....	87
7.5.1 Clasificación de los difusores.....	89
7.6 Termostatos.....	89
7.6.1 Sensores de los termostatos.....	90
7.6.2 Corriente de operación de los termostatos.....	90
7.6.3 Ubicación.....	91
7.7 Cajas de volumen variable.....	91

## PARTE II

### ANALISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO

<b>CAPITULO 8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>92</b>
8.1 Análisis del sistema de aire acondicionado.....	92
8.1.1 Flujo de maneja la máquina centrífuga de refrigeración.....	93
8.1.1.2 Comportamiento de las bombas centrífugas.....	93
8.1.1.3 Potencia de accionamiento del sistema de bombeo de agua.....	95
8.1.2 Eficiencia y costos a corto y mediano plazo.....	98
8.1.3 Ventajas y desventajas de un sistema de recirculación de agua.....	100
8.2 Conclusiones personales.....	101
 BIBLIOGRAFIA.....	 102

## PROLOGO

En la actualidad existe una extensa cantidad de equipos de aire acondicionado, estos los podemos apreciar a diario, en zonas muy calurosas hay equipos que ayudan a mantener una temperatura confortable en comparación con el medio ambiente si es que hace mucho calor o frío; esta ventaja la podemos utilizar con el objeto de tener un ambiente mas agradable donde estar.

De igual forma dentro del automóvil prendemos la calefacción en caso de que se tenga frío, o por lo contrario, si hace mucho calor encendemos el sistema que inyecta aire fresco. En fin, la lista es casi interminable relacionada con estos equipos.

El funcionamiento de estos equipos se basa en el ciclo inverso de Carnot, el cual se estudia dentro del área de Termodinámica en Ingeniería Mecánica; los ciclos inversos tienen dos objetivos como se mencionó anteriormente, el primero de ellos es producir un efecto frigorífico en el caso de un sistema de refrigeración; y el otro objetivo es producir un efecto calorífico en un sistema de calefacción; al conjunto de equipos donde se realizan estos procesos se les conoce como bomba de calor, dentro de la industria es común escuchar este termino para describir al ciclo donde se lleva a cabo el proceso de calefacción.

En un sistema de recirculación de agua, el principio de funcionamiento se basa en el bombeo de agua helada hacia los espacios que se quieren acondicionar en los que por medio de unidades terminales conocidas como unidades manejadoras de aire y fan and coil's, se logra intercambiar calor entre el aire de los espacios y el agua helada. Una vez realizado el intercambio de energía, el agua retorna hacia las unidades enfriadoras de agua siendo nuevamente enfriada y re-enviada hacia los espacios a climatizar. Existen diversos arreglos de unidades enfriadoras de agua y cada opción será la más adecuada, dependiendo de diversos factores como las características del lugar a climatizar la disponibilidad y costo del agua, así como las tarifas de energía eléctrica en el lugar de la aplicación. Cuando se realiza la selección del equipo de acondicionamiento de aire, puede considerarse que los equipos enfriados por agua son mas eficientes que los enfriados por aire, debido a que las temperaturas alcanzadas para la condensación del refrigerante, son menores con agua que con aire.

A pesar de lo anterior, no hay que olvidar que si se analiza globalmente la situación, en la opción de condensación por agua, habría que involucrar los costos de agua, del tratamiento de la misma y del consumo eléctrico de las bombas de agua de condensación y de los ventiladores de las torres de enfriamiento.

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 OBJETIVO

En la presente investigación se realizará un análisis de un sistema de aire acondicionado que funciona con recirculación de agua helada. Para que se pueda comprender sobre este análisis, en primer lugar se dará una explicación de qué es el aire acondicionado cuantos tipos existen y cuáles son sus elementos básicos, se describirán todos los componentes de manera detallada que tiene el sistema de agua helada, como son: la unidad enfriadora de agua, bombas centrífugas, variadores de frecuencia, unidades manejadoras de aire ductos y difusores de aire.

Una vez que ya se hayan descritos los componentes del sistema, se hará el análisis del sistema de aire acondicionado para que se puedan saber cuáles son las ventajas y desventajas de este tipo de sistemas además de que realizarán comparaciones con otros sistemas similares utilizados para el mismo propósito anteriormente.

El sistema que se describirá funciona con una maquina centrífuga de refrigeración que también es conocida como chiller, este último termino es el nombre con el que se le conoce comúnmente dentro del ramo del aire acondicionado, a una maquina que sirve para enfriar agua y luego esta agua será usada para los procesos de acondicionamiento de aire.

Finalmente se expondrán las conclusiones sobre este sistema centralizado de aire acondicionado.

### 1.2 JUSTIFICACIÓN TECNICO-ECONÓMICA

Al hacer el análisis de un sistema de recirculación de agua, se demostrará que es la mejor opción en la actualidad para proyectar un sistema de aire acondicionado, ya que a pesar de que implica una gran inversión inicial, se justifica con el notable ahorro de factores como: energía eléctrica y mantenimiento.

En cuanto a una máquina centrífuga de refrigeración es una gran ventaja por la gran cantidad de sensores de presión, temperatura, voltaje, corriente; lo que la hace muy útil en cuanto a la detección de problemas cuando se lleguen a presentar en el sistema; ahorrándose así, gastos mayores por la detección inoportuna de las fallas. Por otra parte el uso de compresores de tipo centrífugo es la mejor opción cuando se utilizan un gran volumen de líquido.

### 1.3 DESCRIPCIÓN DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN

El ciclo de refrigeración consta principalmente de cuatro elementos, más los controles y accesorios, según el tamaño y las condiciones de operación del equipo, estos componentes se enlistan a continuación:

- Compresor
- Evaporador
- Condensador
- Válvula ó elemento de expansión

**Compresor.**-tiene como finalidad comprimir el refrigerante en estado gaseoso que procede del evaporador, disminuyendo su volumen y aumentando su temperatura y presión para que pueda ser condensado.

En el aire acondicionado los compresores de mayor uso son los de pistón y los rotativos, imponiéndose dos tipos de compresores en los equipos domésticos, los de ventanas y consolas, ya que el bajo nivel de ruido los hace especialmente indicados en esta aplicación.

**Evaporador.**-consta de un intercambiador de calor comúnmente conocido como serpentín por el que fluye el refrigerante en forma líquida, al comienzo y durante su recorrido, va absorbiendo el calor contenido en el recinto a acondicionar, provocando su vaporización. Por consiguiente, el cambio de fase líquido-vapor va acompañado de la absorción del calor contenido en el aire.

Al encontrarse más caliente el aire de los alrededores que el fluido refrigerante, el primero cede calor al segundo, por lo que el aire pierde calor y se enfría, cediendo su energía calorífica al refrigerante, el cual hierve en lugar de calentarse, pasando del estado líquido al gaseoso.

**Condensador.**-El condensador es un intercambiador de calor utilizado para pasar un refrigerante de estado gaseoso comprimido a líquido, por cesión de calor a un medio distinto del fluido circulado. Es decir, en lugar de absorber calor del aire ambiente, lo dispersa en la atmósfera que le rodea. Su función es inversa a la del evaporador.

Cuando el gas refrigerante cede su energía calorífica al aire se condensa transformándose en un líquido, el cual es acumulado en un depósito, quedando listo para intervenir nuevamente en el ciclo de refrigeración. Generalmente el depósito forma parte del evaporador.

**Elemento de expansión.**-Es un dispositivo que permite y regula el paso del refrigerante líquido desde un estado de alta a otro de más baja presión. El elemento de expansión está situado a la salida del depósito acumulador, al final del condensador y al cruzar la válvula por el orificio de unión que alimenta al evaporador.

### 1.3.1 FUNCIONAMIENTO DEL CICLO

Partiendo del punto 1, el refrigerante entra al compresor en forma de vapor, en el punto 2 el refrigerante entra al condensador en forma de líquido saturado, conforme sale el líquido del condensador, entra al punto 3 en donde el líquido pasa por un elemento de expansión, la cual es una válvula de estrangulación que separa la región de alta de la de baja presión, en el punto 4, la mezcla con un alto contenido de líquido entra al evaporador y absorbe calor de los alrededores cerrando así el ciclo de refrigeración.

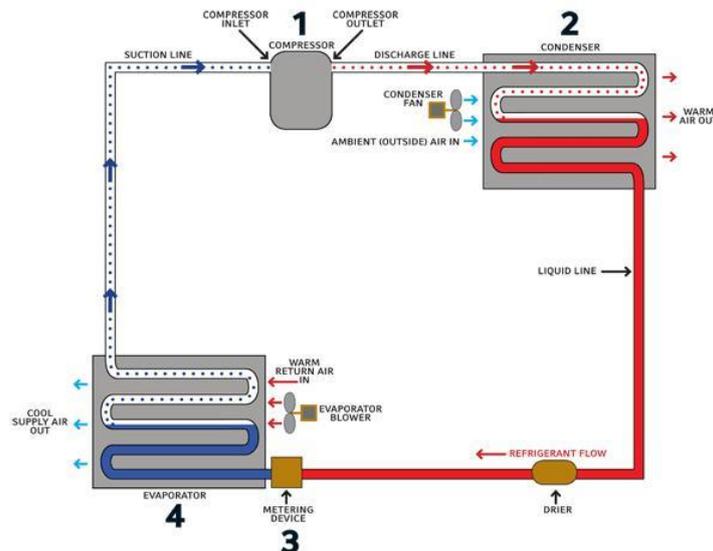


Figura 1.1 Funcionamiento de un ciclo de refrigeración

### 1.4 SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO

En la actualidad los sistemas más utilizados son: los equipos de expansión directa y los equipos de recirculación de líquidos. De los equipos de expansión directa solamente se dará una explicación básica acerca de su funcionamiento para que el lector tenga una idea de cómo funcionan dichos equipos, ya que la presente investigación tiene por objetivo describir únicamente el funcionamiento de un sistema de recirculación de líquidos, en particular un sistema que utiliza como sustancia operante el agua.

Los equipos de expansión directa tienen como principal característica que la sustancia con la que funcionan es un gas refrigerante con propiedades especiales y este es seleccionado por los fabricantes dependiendo de las necesidades que se requieren.

En este sistema el refrigerante entra al compresor en forma de gas para ser comprimido y recirculado desde el condensador, el cual se encuentra ubicado en un lugar fuera del recinto a acondicionar, en este mismo lugar es donde cede el calor absorbido al medio ambiente. Cuando se realiza esta transferencia de calor, el aire circundante absorbe el calor del serpentín condensador y el refrigerante pasa de estado gaseoso a estado líquido ya que por sus propiedades es suficiente la temperatura del medio ambiente para lograr este cambio de fase. Cuando termina el proceso, el refrigerante en estado líquido aún tiene alta presión y temperatura, posteriormente entra al elemento de expansión, cuya función es la de reducir la presión y la temperatura, además de regular el flujo del refrigerante que va a ser enviado hacia el serpentín evaporador. Una vez que se tiene en forma de líquido con baja presión y temperatura, el

refrigerante entra dentro del serpentín evaporador, el cual esta ubicado dentro del lugar que se quiere acondicionar; cuando pasa el refrigerante por el serpentín, absorbe calor y cambia de fase líquida a gaseosa, de ahí recibe este equipo el término de evaporador, porque el gas se evapora, así se repite nuevamente el ciclo. Cabe señalar que cambiando la posición del evaporador con el condensador, se tiene un sistema que opera como bomba de calor, es decir, para producir un ambiente cálido dentro del lugar que se quiere acondicionar.

Por otra parte, los equipos de recirculación de líquidos son aquellos en los que mediante un proceso de refrigeración se logra enfriar una sustancia líquida, que generalmente es agua, la que después es utilizada para diversos procesos industriales, por ejemplo en la industria farmacéutica y en la industria alimenticia, en las que es indispensable contar con agua fría y en algunos casos también con agua caliente, también este proceso es ocupado para acondicionar complejos arquitectónicos, tales como edificios de oficinas y centros comerciales.

A la maquina térmica encargada de realizar este proceso se le conoce como unidad enfriadora de agua o "chiller". Particularmente se describirá el proceso para acondicionar aire en un edificio de oficinas, partiendo desde que el agua helada sale de la unidad enfriadora, pasando por la red de tuberías distribuidas estratégicamente en el sótano del edificio, de ahí será impulsada por bombas rotodinámicas y finalmente llega hasta las unidades manejadoras de aire las cuales tienen por objetivo inyectar aire fresco en el recinto a acondicionar, estos equipos serán descritos de una manera mas amplia en los siguientes capítulos. Se descartarán los demás procesos mencionados con anterioridad.

## CAPITULO II

### MAQUINA CENTRIFUGA DE REFRIGERACION

#### 2.1 COMPONENTES DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL CHILLER

La maquina centrifuga de refrigeración también conocida como “chiller” tiene como función enfriar una sustancia liquida que habitualmente es agua. La maquina centrifuga de refrigeración, cuenta con dos grandes cascos en forma cilíndrica, uno de ellos es el evaporador y el otro el condensador. El evaporador y el condensador son intercambiadores de calor del tipo tubo y carcasa (ó casco), en el condensador circula el agua encargada de condensar el refrigerante, es importante mencionar que el sistema de agua de condensación es independiente del de agua helada. Dentro del evaporador circula el “agua helada” que es bombeada a los diversos equipos, tales como Unidades Manejadoras de aire y Fan and Coil’s para acondicionar los recintos. La sustancia que circula del evaporador al condensador es un fluido refrigerante, mismo que pasa por el evaporador inundando los tubos, absorbe el calor del agua relativamente caliente proveniente de los recintos acondicionados, este hierve y es impulsado al condensador por medio de un compresor de tipo centrifugo. Dentro del condensador, el refrigerante cede el calor absorbido al agua de condensación haciendo que el fluido refrigerante cambie a fase liquida, es decir se condense. Finalmente el fluido refrigerante en estado líquido proveniente del condensador, pasa por la cámara de control de flujo para permitir un drenaje total del refrigerante hacia el evaporador y así repetir nuevamente el ciclo.

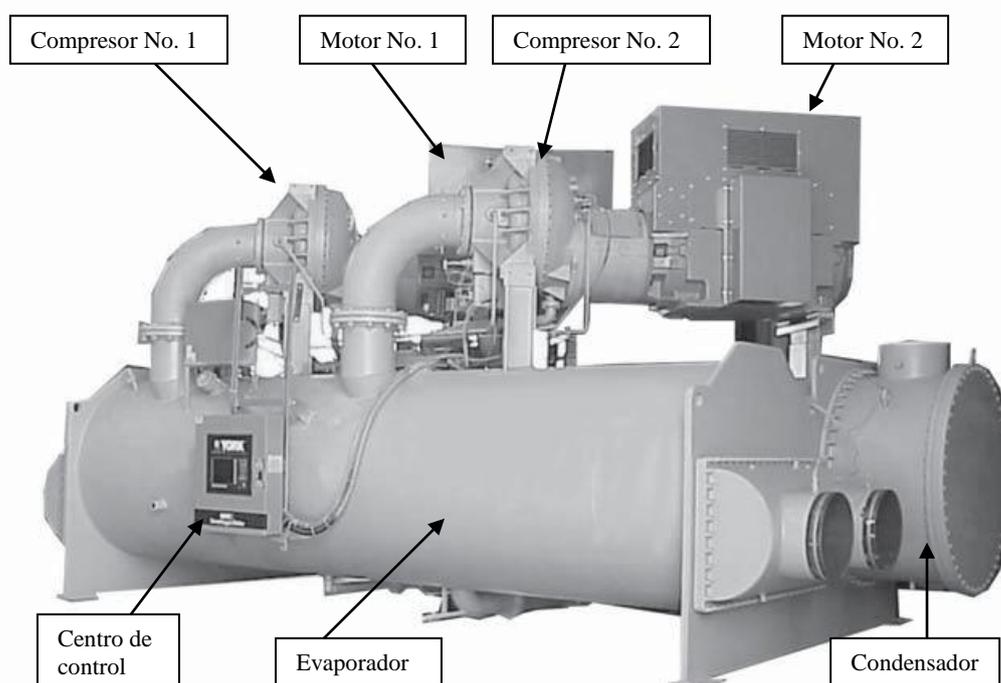


Figura 2.1 Chiller (Extraído de Control center centrifugal liquid chillers, form 160.69.01, 108, York, pag 1)

## 2.2 CONDENSADOR

El condensador con que cuenta la maquina centrifuga es un intercambiador de calor de tipo tubo inundado y carcasa, y cuenta con un deflector para el gas de descarga situado en la parte de arriba de los tubos para evitar que el gas proveniente del compresor a alta velocidad golpee directamente al arreglo de tubos, este deflector sirve también para distribuir uniformemente el flujo del gas refrigerante y de esta forma lograr la transferencia de calor mas eficientemente posible.

El condensador tiene una temperatura de agua a la salida de aproximadamente 85°F misma que es circulada por un sistema de tuberías hacia las torres de enfriamiento que están instaladas en un lugar alejado al aire libre en la parte superior del cuarto de maquinas, luego el agua es enfriada bajo un proceso que se describirá posteriormente en el capitulo 4. Una vez enfriada el agua, es recirculada nuevamente al condensador a una temperatura que debe estar alrededor de los 74°F.

Para lograr que el condensador funcione de la manera mas optima posible, se debe de estar monitoreando la temperatura de salida de agua del condensador y compararla con la temperatura de saturación del condensador, es decir, la temperatura dentro del casco condensador y al hacer esta comparación, la diferencia de temperaturas no debe ser mayor de los 5°F, si esta diferencia supera la temperatura antes descrita, el condensador necesitará un tratamiento químico el cual consiste en diluir una sustancia especial en el agua de condensación con la intención de liberar los tubos del intercambiador de calor de posibles incrustaciones depositadas en los mismos a causa de las impurezas que tiene el agua, las cuales impedirán una buena transferencia de calor entre los tubos y el refrigerante dentro del casco. De ser necesario, se tendrá que quitar la tapa del condensador para limpiar los tubos de forma manual para poder quitar las incrustaciones difíciles de remover.

Posteriormente el agua que ha sido tratada con este liquido debe ser drenada y renovada con agua limpia. Cabe señalar que la diferencia de temperaturas superará los 5°F en el caso de que la máquina centrifuga tenga una operación aproximada de un año, y es entonces cuando se realiza este tratamiento de limpieza de los tubos.

La unidad enfriadora cuenta con un centro de control que consiste en una pantalla para monitorear diversos parámetros que son necesarios para su operación, en lo que respecta al condensador, las funciones que se pueden monitorear son las siguientes:

- a) Temperatura de retorno de agua de condensación (Return condenser liquid temperature): muestra la temperatura de agua cuando entra al condensador.
- b) Temperatura de salida del agua de condensación (Leaving Condenser Liquid Temperature): muestra la temperatura del agua cuando sale del condensador.
- c) Temperatura de saturación en el condensador (Condenser Saturation Temperature): Muestra la temperatura de saturación en el condensador.
- d) Diferencia pequeña de temperatura (Small Temperature Difference): muestra la diferencia de temperatura entre el refrigerante en el condensador y la temperatura de salida del agua en el condensador. La temperatura del refrigerante en el condensador será representada por la temperatura de saturación del condensador.

- e) Presión en el condensador (Presura Condenser): Muestra la presión del refrigerante en el condensador.
- f) Interruptor de flujo de agua de condensación (Condenser Liquid Flow Switch): Indica si el flujo esta presente en el condensador. Si hay flujo aparece como “cerrado”.
- g) Bomba de agua de condensación (Condenser Liquid Pump) Run/Stop: Indica si la bomba del agua de condensación esta en funcionamiento.
- h) Posición del nivel de refrigerante (Refrigerant Level Position): Muestra la posición actual del refrigerante si es que esta función esta habilitada.
- i) Punto de ajuste de Nivel de refrigerante (Refrigerant Level Setpoint): Muestra el punto del nivel de refrigerante que esta siendo controlado.

En la siguiente imagen se muestra el condensador y los parámetros que deben ser monitoreados:

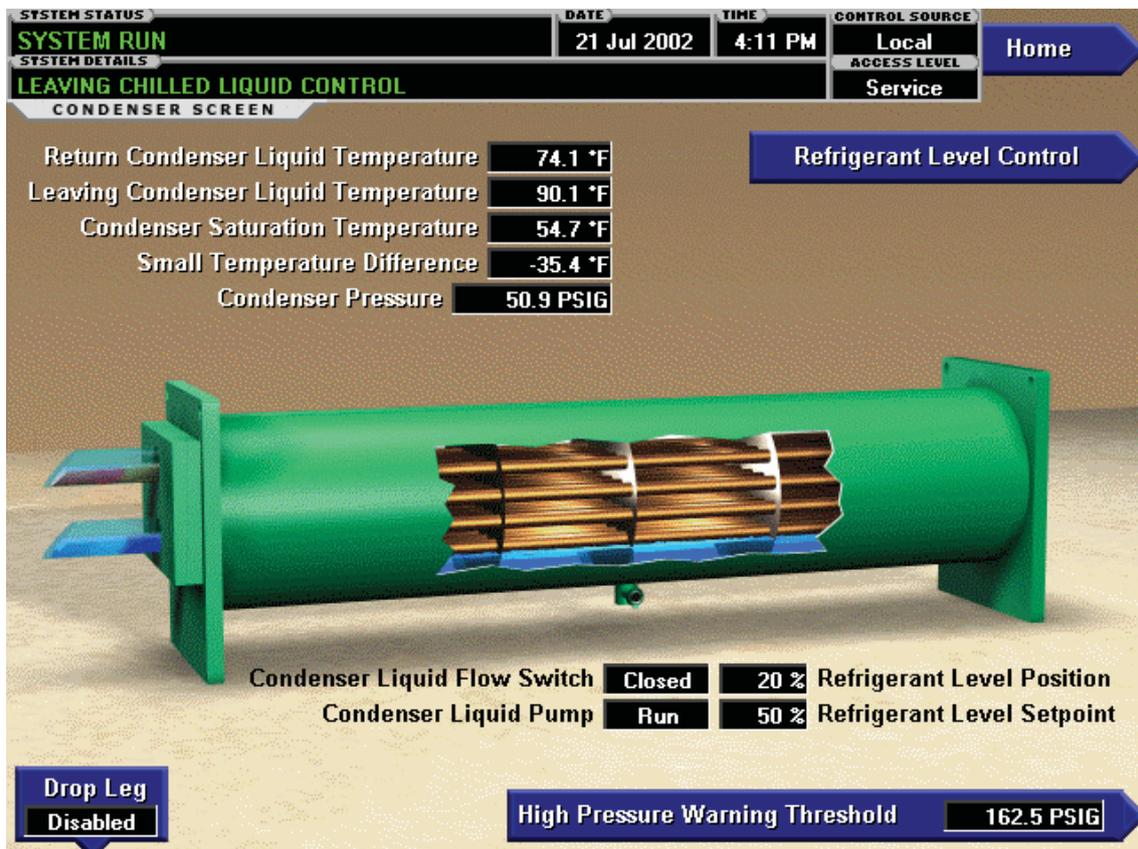


Figura 2.2 Condensador (Extraído de Control center centrifugal liquid chillers, form 160.69.01, 108, York, pag 32)

## 2.3 EVAPORADOR

Al igual que el condensador, el evaporador es un intercambiador de calor del tipo de tubo inundado y carcasa, la carcasa tanto del condensador como del evaporador son de placa de acero al carbón con juntas soldadas por fusión, en los extremos de los cascos se suelda una gruesa placa de acero con taladras avellanadas para recibir a los tubos. Los tubos se encuentran en posición horizontal, con un sistema de distribución consistente en un distribuidor a todo lo largo, y una placa perforada localizada abajo del haz de tubos para lograr una distribución uniforme de flujo de refrigerante, a lo largo de toda la carcasa, cuenta con soportes intermedios para los tubos de placa de acero.

En la parte superior del evaporador se cuenta con eliminadores de arrastre altamente eficientes fabricados en malla de aluminio y localizados sobre el haz de tubos, estos eliminadores evitan que el refrigerante líquido sea arrastrado por la succión, hacia el interior del compresor. En un lado del evaporador se cuenta con una mirilla que sirve como auxiliar para determinar la carga de refrigerante correcta

Por el lado de los tubos circula el agua que es enfriada para el sistema de acondicionamiento de aire, la temperatura de salida es aproximadamente de 40°F y la de entrada es de 50°F, sin embargo la temperatura de entrada ó regreso también puede variar dependiendo de la carga térmica del recinto acondicionado. Por el lado de la carcasa circula el fluido refrigerante proveniente de la cámara de control de flujo en estado líquido, posteriormente se realiza un intercambio de calor entre el agua que pasa por los tubos y por el refrigerante que esta por el lado de la carcasa, como el agua esta relativamente mas caliente que el refrigerante, cede su energía calorífica al refrigerante ocasionando que el líquido refrigerante absorba el calor del agua y se evapore, finalmente así, se repite nuevamente el ciclo.

Cuando el evaporador se encuentra funcionando, se deben revisar constantemente los parámetros de funcionamiento, los cuales se muestran al igual que el condensador, dentro de la pantalla del centro de control. Dentro de los parámetros que se revisan se destacan los siguientes:

- a) Temperatura de salida del agua helada (Leaving Chilled Liquid Temperature): Muestra la temperatura del líquido que sale del evaporador.
- b) Temperatura de retorno del agua helada (Return Chilled Liquid Temperature): Muestra la temperatura que regresa al evaporador.
- c) Diferencia pequeña de temperatura (Small Temperature Difference): Muestra la diferencia de temperatura entre la temperatura de salida del agua helada y la temperatura del refrigerante en el evaporador. La temperatura del refrigerante en el condensador, será representada por la temperatura de saturación en el evaporador, la diferencia entre estas dos temperaturas siempre debe ser de 0.1°F a 1°F, si la diferencia se llegara a incrementar por encima de este valor significa que comienzan a ensuciarse los tubos del evaporador.
- d) Presión del evaporador (Evaporator Pressure): Muestra la presión del refrigerante en el evaporador.
- e) Temperatura de saturación del evaporador (Evaporator Saturation Temperature): Muestra la temperatura de saturación en el evaporador.

- f) Temperatura del refrigerante en el evaporador (Evaporator Refrigerant Temperature): Muestra la temperatura del refrigerante en el evaporador, si es que esta el sensor instalado ya que este puede ser opcional.
- g) Puntos de Ajuste de Temperatura de Salida de Agua Helada ( Leaving Chilled Liquid Temperature Setpoints):
  1. Punto de Ajuste (Setpoint): Muestra la temperatura de salida del agua helada que fue programada para el chiller.
  2. Paro (shutdown): muestra la temperatura de salida del agua helada en la cual el Chiller se apagará. Por defecto este valor esta 4°F por debajo de la temperatura del punto de ajuste, aunque el usuario puede modificarla según sean sus necesidades.
  3. Re-arranque (Restart): Muestra la Temperatura de Salida de Agua Helada en la cual el Chiller se restablecerá después de haber estado apagado por baja temperatura. Por defecto el chiller se restablecerá cuando alcance la temperatura de salida de agua helada programada en el punto de ajuste.

En la siguiente imagen se muestra el condensador y los parámetros que deben ser monitoreados:

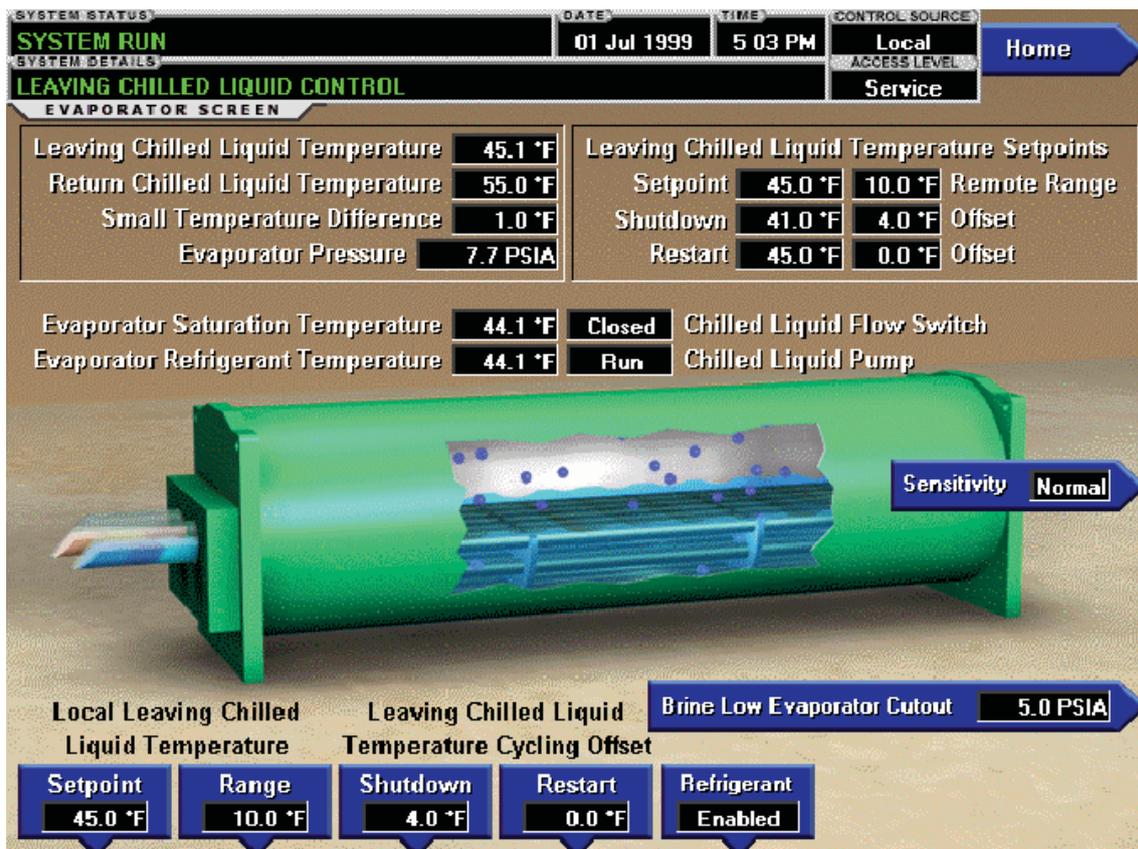


Figura 2.3 Evaporador (Extraído de Control center centrifugal liquid chillers, form 160.69.01, 108, York, pag 30)

## 2.4 COMPRESOR

Se puede decir que el compresor es el elemento principal en el sistema de frigorífico. Hace circular el calor a través de todo el sistema en forma de vapor refrigerante portador de calor. El compresor puede considerarse como una bomba de vapor. Reduce la presión el lado de baja presión del sistema, es decir, en el lado de la succión, que incluye el evaporador y aumenta la presión en el lado de alta presión del sistema. Todos los compresores de los sistemas frigoríficos cumplen la función de comprimir el refrigerante evaporado. La compresión puede llevarse en formas diversas de acuerdo con los distintos tipos de compresor. Los compresores más corrientemente empleados en el acondicionamiento de aire son los compresores de desplazamiento positivo y los compresores del tipo centrífugo.

En el caso particular de la Máquina centrífuga de refrigeración aquí expuesta, se emplea el compresor de tipo centrífugo, ya que debe mover una gran cantidad de refrigerante evaporado a través del sistema. El compresor centrífugo se asemeja a un gran ventilador y es el más apropiado para manejar grandes volúmenes de refrigerante, además de que este tipo de compresor no tiene desplazamiento positivo.

La máquina centrífuga de refrigeración, cuenta con dos grandes compresores de tipo centrífugo los cuales reciben el refrigerante del evaporador en forma de vapor a baja presión y después de haber sido comprimido es descargado en forma de gas a alta presión y temperatura hacia el condensador.

No obstante, solo un compresor que es asignado como líder, funciona cuando la carga térmica que se tiene que abatir es una cantidad menor y esto ocurre dependiendo de varios factores, como por ejemplo en la noche cuando ya no hay demasiada carga térmica debido al abandono de las instalaciones por parte de los usuarios, sin embargo el funcionamiento de la máquina centrífuga de refrigeración no solo está en función de la cantidad de usuarios en las instalaciones, sino también de los cambios climáticos presentes en el medio ambiente como por ejemplo en la temporada de invierno el lugar se vuelve menos cálido y también en los días lluviosos el ambiente se vuelve muy frío por tal motivo la máquina centrífuga de refrigeración no tiene la necesidad de operar a una marcha elevada y comienza a funcionar a una capacidad menor.

Es importante mencionar que los compresores pueden modular automáticamente su capacidad de operación dependiendo de la carga térmica que tengan que abatir y esto lo logran con la ayuda de sensores que regulan la cantidad de corriente que consumen, la cual puede oscilar desde un 65% de FLA o corriente a plena carga y llegar hasta el 100% de FLA, sin embargo este límite de consumo de corriente puede ser modificado y programado según las necesidades de cada usuario.

Por otra parte, en la mañana conforme va transcurriendo el día y la corriente a plena carga del compresor líder supera el 100%, automáticamente se acciona el segundo compresor para poder así abatir de una manera más rápida la carga térmica. En algunas ocasiones cuando el equipo es encendido en la mañana, el agua estancada en las tuberías es demasiado caliente y la máquina centrífuga de refrigeración de forma inmediata acciona ambos compresores al 100% de su capacidad.

Esta pantalla muestra un corte en donde se pueden apreciar los impulsores del compresor. La animación de las hélices indica cuando el compresor está funcionando, esta pantalla también

sirve para ver parámetros como la temperatura del depósito de aceite, protección contra sobretensiones y calibración individual de los compresores:

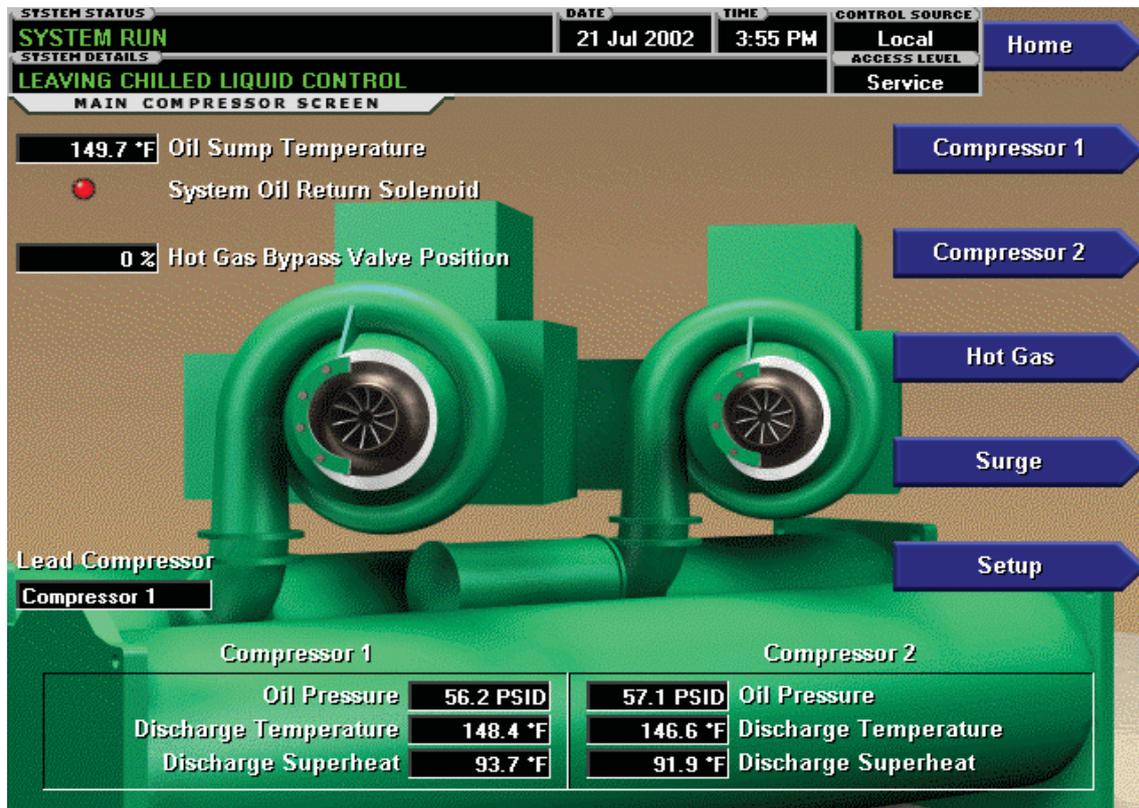


Figura 2.4 Impulsores del compresor (Extraído de Control center centrifugal liquid chillers, form 160.69.01, 108, York, pag 36)

- Temperatura del Depósito de Aceite (Oil Sump Temperature): muestra la temperatura en el depósito de aceite.
- Aceite del sistema de retorno de solenoide LED (System Oil Return Solenoid): prende cuando el solenoide esta energizado.
- Posición de las válvulas del Bypass de gas caliente (Hot Gas Bypass Valve Position): Muestra la posición de la válvula de gas caliente en el rango de 0% (cerrado) a (100%) totalmente abierta. Solo se muestra si la función de Bypass de gas caliente se ha habilitado en la pantalla de operaciones.
- Compresor Líder (Lead Compressor): muestra cual compresor ha sido seleccionado como compresor líder. El compresor es elegido automáticamente por el sistema, tomando en cuenta el tiempo que llevan funcionando, el compresor que tiene la menor cantidad de tiempo en ejecución es seleccionado como compresor líder.
- Presión del Aceite (Oil Pressure): Muestra la diferencia de presión entre el transductor de presión de la bomba de aceite para el compresor y el transductor de presión del Carter.
- Temperatura de descarga (Discharge Temperature): Muestra la temperatura del refrigerante en estado gaseoso en la descarga del compresor en su viaje hacia el condensador.

- Sobrecalentamiento de Descarga (Discharge Superheat): Muestra el sobrecalentamiento en la descarga del compresor, calculado como la temperatura de descarga menos la temperatura de saturación en el condensador.
- Gas Caliente (Hot gas): Se mueve a una subpantalla que permite la programación de los puntos de ajuste del Bypass del gas caliente y el control manual de la válvula Bypass de gas caliente. Esta función es opcional y solo se muestra si es que fue activada en la pantalla de operaciones.
- Sobrecarga (Surge): Se mueve a una subpantalla que permite la visualización y la programación de la función de protección contra sobretensión.

Los puntos antes mencionados sirven para describir las funciones mostradas en el menú principal de los compresores. Sin embargo al entrar en la opción que dice compresor dentro de la pantalla principal antes descrita, se pueden visualizar otros parámetros muy interesantes para poder verificar el buen funcionamiento de los compresores, ya sea del compresor líder o del compresor de apoyo.



Figura 2.5 Pantalla de un compresor (Extraído de Control center centrífugal liquid chillers, form 160.69.01, 108, York, pag 38)

- Presión de aceite (Oil Pressure): Muestra la diferencia de presión entre el transductor de la bomba de presión de aceite y el transductor de presión del cárter de aceite.

- High Speed Thrust Bearing Proximity Differential: Muestra la distancia entre el collar de empuje de alta velocidad y la punta de la sonda de proximidad para el compresor. Esta medida tiene en cuenta la posición de referencia establecida al momento de haber fabricado la unidad enfriadora de agua.
- Interruptor de las Compuertas del Motor (Vane Motor Switch): indica la opción closed o cerrado cuando las compuertas del compresor están completamente en posición cerrada y también puede mostrar la opción opened la cual significa que las compuertas del compresor están completamente abiertas.
- Situación del Compresor (Compressor Status): Muestra si el compresor que se está observando en la pantalla actual, es el compresor líder o el compresor secundario.
- porcentaje de Corriente a Plena Carga (% Full Load Amps): Muestra el porcentaje de la carga en amperes, que el compresor necesita para poder operar en el momento que se observa la pantalla.
- Posición de las Compuertas de Pre-rotación (Pre-Rotation Vanes Position): muestra en que porcentaje están abiertas las compuertas de prerrotacion del compresor que se está observando, las cuales pueden oscilar desde el 0% que significa que están completamente cerradas y 100% significa que están abiertas completamente.
- Válvula de Descarga Comando Cerrado (Discharge Valve Close Command): Se ilumina cuando un comando de cierre se aplica a la válvula de descarga del compresor.
- Válvula de Descarga Comando Abierto (Discharge Valve Open Command): Se prende el LED cuando un comando de apertura se aplica a la válvula de descarga del compresor.
- Válvula de descarga (Discharge Valve): Muestra la situación de la Válvula de descarga del compresor la cual puede ser cerrando, cerrada, abriendo o abierta.
- Compuertas de Prerrotacion, modo automático (Pre-Rotation Vanes Auto): Esta opción devuelve el control de las compuertas a modo automático.
- Válvula de Descarga modo manual o automático (Discharge Valve, Manual/Auto): solo se muestra cuando el compresor es detenido. Esta opción pone la válvula del compresor en operación automática o manual. Cuando está en operación manual, estas opciones se utilizan para manualmente abrir o cerrar las válvulas.

#### **2.4.1 COMPUERTAS DE PRERROTACION DEL COMPRESOR**

Las compuertas de prerrotacion son uno de los componentes principales del sistema, ya que sirven para mantener una temperatura constante del líquido a la salida del evaporador que a su vez controla la capacidad del sistema, es decir, su función es cumplir con el punto de ajuste ó setpoint programado para la temperatura de salida de agua helada seleccionada por el usuario y sus necesidades de operación. Las compuertas de prerrotacion localizadas a la entrada del impulsor del compresor, deberán modular la posición de acuerdo a los requerimientos de la carga térmica.

La posición de estas compuertas es automáticamente controlada por un mecanismo conectado a un motor modulante o Turbomodulador localizado en el exterior del compresor. El ajuste automático de la posición de las compuertas provee al compresor de un medio efectivo para lograr su desempeño ajustándose a condiciones de carga, desde plena carga con las compuertas cerradas.

Las compuertas de prerrotación modulan la capacidad de La Máquina Centrifuga de Refrigeración del 100% al 10% de la capacidad de diseño en instalaciones normales de aire acondicionado, estas compuertas tienen forma aerodinámica y son fabricadas de bronce con manganeso, un actuador (motor modulante eléctrico colocado en el exterior de la carcasa), que controla la posición de una manera muy confiable.

El Turbomodulador ó inversor de corriente es componente opcional que se monta desde fábrica, esta diseñado para variar la velocidad del motor controlando la frecuencia y el voltaje de la alimentación eléctrica del motor. El control lógico del Turbomodulador, automáticamente ajusta la velocidad del motor y la posición de las compuertas de prerrotación analizando la información suministrada por los sensores colocados en el sistema, con la finalidad de lograr la máxima eficiencia posible a cargas parciales.

Cuando el compresor llega a su velocidad de operación, las compuertas de prerrotación comenzarán a abrir bajo el control del microprocesador o la sección lógica del Turbomodulador (en caso de que cuente con él), las cuales detectan la temperatura de salida del líquido enfriado. La capacidad de la unidad variará para mantener la temperatura del punto de ajuste ó setpoint de salida del agua helada. Las compuertas de prerrotación son moduladas por un actuador bajo el control del microcomputador o la sección lógica del Turbomodulador, la rutina de control de las compuertas utiliza una acción de control proporcional más derivativa, en otras palabras más rapidez. Una disminución con la temperatura del agua de salida, provocará que el actuador cierre las compuertas (y también disminuye la velocidad del motor si la unidad está equipada con Turbomodulador), para reducir la capacidad del sistema. Cuando la temperatura de salida del agua se incrementa el actuador abrirá las compuertas (y también se incrementará la velocidad del motor si la unidad está equipada con Turbomodulador) para incrementar la capacidad del sistema.

Sin embargo, la corriente demandada por el rotor del compresor no puede exceder del punto de ajuste ó setpoint programado para el porcentaje de límite de corriente durante la operación, ya que la posición de las compuertas de prerrotación estará limitada por el centro de control, y aunque exista una demanda por más capacidad si la corriente llegó a su límite preestablecido las compuertas no abrirán más.

En el caso de que la carga continúe disminuyendo después de que las compuertas de prerrotación estén totalmente cerradas, la Unidad Centrifuga de Refrigeración dejará de funcionar de forma indefinida bajo un concepto conocido como "límite de baja temperatura de agua helada", y en el centro de control aparecerá una leyenda que dirá en letras rojas "baja temperatura de agua-arranque automático", en el dado caso que la Unidad cuente con Turbomodulador, aparecerá la leyenda de "baja temperatura de agua-arranque con Turbomodulador".

En el siguiente apartado se muestra una vista de corte del compresor, revelando las compuertas de prerrotación. Esta pantalla proporciona al usuario la capacidad para poder calibrar las compuertas de prerrotación. En el caso de que estas llegaran a descalibrarse ocasionando un flujo no requerido de refrigerante hacia el compresor causando daños a los alabes.

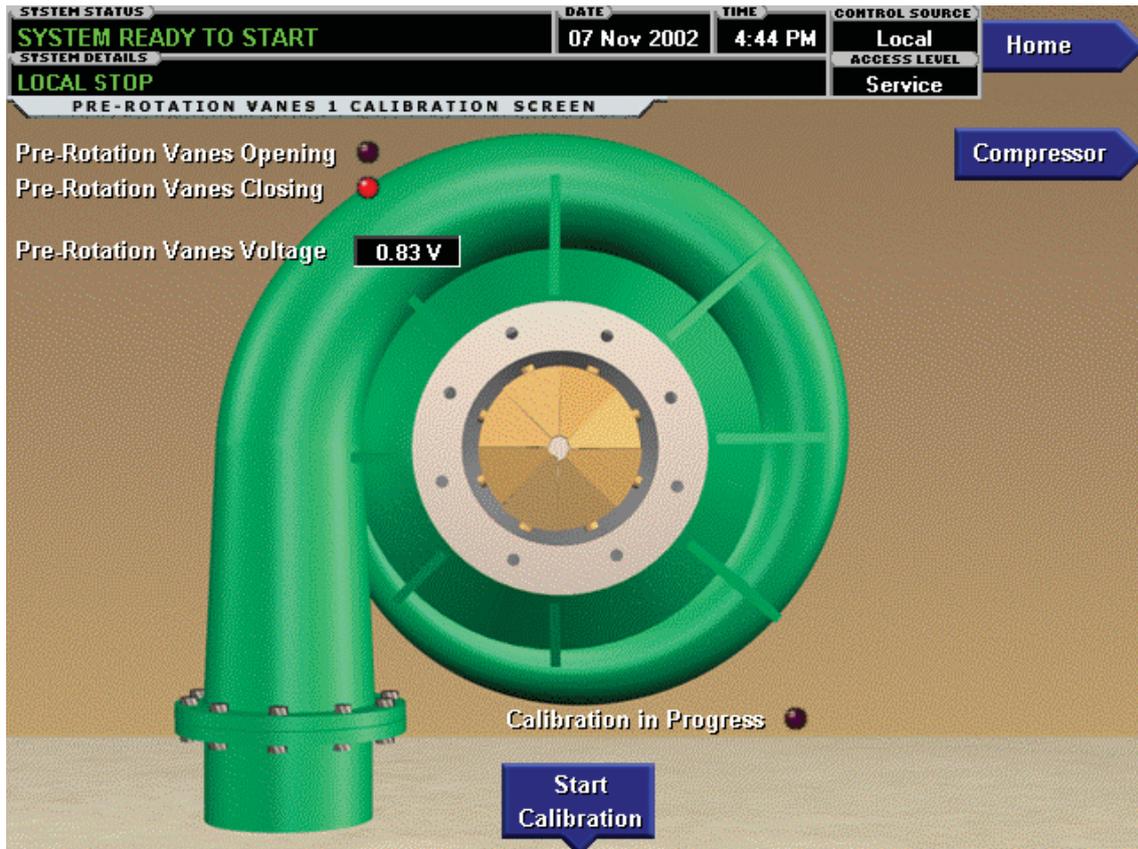


Figura 2.8 Compuertas de prerrotacion del compresor (Extraído de Control center centrifugal liquid chillers, form 160.69.01, 108, York, pag 44)

- Apertura de las Compuertas de Pre-rotación (Pre-Rotation vanes Opening): Indica que las compuertas se están abriendo.
- Cierre de las Compuertas de Pre-rotación (Pre-Rotation Vanes Closing): Indica que las compuertas se están cerrando.
- Voltaje de las compuertas de Pre-rotación (Pre-Rotation Vanes Voltage): muestra el voltaje en las compuertas de pre-rotación.
- Calibración en progreso (Calibration in Progress): Indica que la secuencia de calibración esta en curso.

## 2.4.2 SISTEMA DE LUBRICACIÓN DEL COMPRESOR

El flujo de aceite sirve para evitar que los componentes de una maquina se lleguen a deformar por el continuo movimiento, ya que estas parte móviles se enfrentan a factores tales como son el calentamiento y el rozamiento entre ellas también puede ocasionar que estas piezas se deformen y queden inservibles trayendo como consecuencia que la maquina sea poco efectiva; en lo que respecta a La Maquina Centrifuga de Refrigeración, una lubricación adecuada a todas las partes móviles dentro del compresor, tales como chumaceras, engranes y rodamientos, son el factor clave para que este tenga una larga vida útil.

El sistema de lubricación de la Máquina Centrifuga de Refrigeración consiste de una bomba de aceite, filtro de aceite y toda la tubería necesaria para que el aceite llegue a todas las partes dinámicas. Existen una serie de puntos principales a los que debe llegar lubricación a presión y estos son:

1. En la flecha de transmisión del compresor (baja velocidad).
  - a) El sello de la flecha.
  - b) Chumaceras frontal y superior (una en cada lado de la flecha).
  - c) Chumacera de empuje axial de baja velocidad. (Hacia adelante y hacia atrás).
  
2. Flecha del compresor (alta velocidad).
  - a) chumacera de empuje axial de alta velocidad. (Hacia atrás y hacia delante)
  - b) Las chumaceras del compresor
  
3. Engranajes incrementadores de velocidad:
  - a) superficies de contacto del engrane de baja velocidad y del piñón. (Engrane de alta velocidad).

Para suministrar la cantidad de aceite requerida a la presión adecuada para lubricar correctamente estos componentes, se cuenta con una bomba de aceite sumergible localizada en un depósito fuera del compresor.

Al oprimir el botón de arranque del compresor, se energiza inmediatamente la bomba de aceite y después de 30 segundos, para permitir que la presión de aceite se estabilice, arrancará el compresor. Al ocurrir un paro normal del compresor la bomba de aceite continuará operando durante 150 segundos después de haber parado el compresor.

La bomba succiona el aceite de su alrededor en el tanque y lo descarga al enfriador de aceite en donde cede calor, de ahí el aceite pasa al filtro de aceite y pasa al tanque de reserva de emergencia de donde es distribuido a las chumaceras del compresor y una vez que lubrica los componentes rotatorios del compresor es regresado al tanque de aceite, completando así el ciclo de lubricación.

Dado que el tanque de emergencia está situado en la parte más alta del sistema de lubricación podrá proveer de aceite a las chumaceras y engranes en el supuesto caso del paro del sistema causado por una falla de energía.

El tanque esta localizado en la parte superior del compresor, permitiendo que el aceite sea distribuido a través de los conductos por acción de la gravedad y por lo tanto proporcionando la lubricación necesaria durante el tiempo que tarda el compresor en parar totalmente en caso de falla de energía eléctrica.

## 2.5 CALENTADOR DE ACEITE

Ahora bien, cuando el chiller se encuentra inactivo durante un largo periodo de tiempo, el aceite en el depósito tenderá a absorber tanto refrigerante como puede retener, dependiendo esto de la temperatura de aceite y de la presión en el depósito de aceite.

En la medida en que la temperatura del depósito de aceite disminuye la cantidad de refrigerante absorbido por el aceite se incrementará y si la cantidad de refrigerante en el aceite es excesiva, se presentará una violenta espumación cuando la presión en el sistema disminuya durante el arranque, esta espuma es causada por la evaporación del refrigerante contenido en el aceite cuando baja la presión, si esta espuma llega a la succión del aceite, la presión de aceite en las chumaceras fluctuará con una posible pérdida temporal de la lubricación, lo que provocará un paro del sistema por baja presión de aceite.

Con objeto de lograr mantener la mas baja concentración de refrigerante en el aceite, el depósito de aceite del compresor esta equipado con un calentador eléctrico de aceite, que opera a 115 volts, el cual es controlado termostáticamente durante los periodos de paro del compresor, para mantener una temperatura de 57 a 63°C.

Por lo antes expuesto, fundamental monitorear constantemente el sistema de lubricación del compresor, mismo que, en caso de detectar algún parámetro funcionando fuera de los rangos establecidos como normales, tales como son presión y temperatura, cuenta con transductores de alta y baja presión que mostraran en la pantalla del depósito de aceite las anomalías sensadas en tiempo real.

La Máquina Centrifuga de Refrigeración dentro del centro de control, el usuario puede navegar hacia una pantalla en donde se muestran todos los parámetros necesarios para poder detectar las anomalías en el sistema de lubricación.

Esta pantalla muestra un primer plano el depósito de aceite del chiller con el estado pertinente del sistema de lubricación, tales como presión y temperatura. Esta pantalla también sirve como una entrada a otras sub-pantallas que permiten programar parámetros para las bombas de aceite de velocidad variable para los compresores 1 y 2.

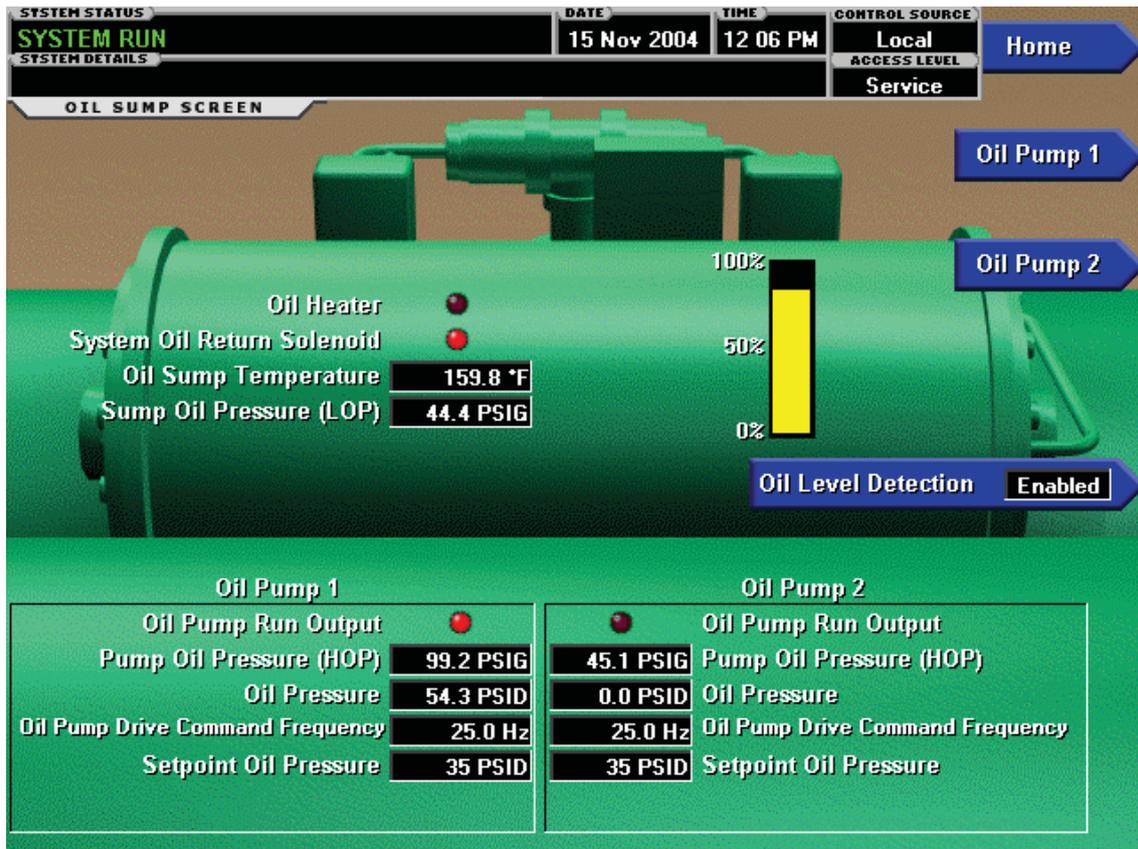


Figura 2.7 Depósito de aceite (Extraído de Control center centrífugal liquid chillers, form 160.69.01, 108, York, pag 68)

- Calentador de aceite LED (Oil Heater): se ilumina cuando la válvula solenoide de salida de aceite esta energizada.
- Aceite del sistema de retorno de solenoide LED (System Oil Return Solenoid): prende cuando el solenoide esta energizado.
- Temperatura del depósito de aceite (Oil Sump Temperature): Muestra la temperatura del aceite en el depósito.
- Presión en el depósito de aceite (Sump Oil Pressure LOP): Muestra la presión del aceite en el lado de baja medida en el depósito.
- Confirmación de operación de la bomba de aceite (Oil Pump Run Output): se ilumina cuando la bomba de velocidad variable del compresor #1, esta siendo ordenada para funcionar la cual puede ser en el compresor líder o el compresor auxiliar
- Presión de la bomba de aceite (Pump Oil Pressure HOP): Muestra la presión del aceite del lado de alta medida a la salida del cojinete del compresor.
- Presión del aceite (Oil Pressure): Muestra la diferencia de presiones entre el transductor de la bomba de aceite (HOP) para el compresor y el transductor de presión en el depósito de aceite (LOP).

- Comando por frecuencia en bomba de aceite (Oil Pump Drive Command Frecuency): Muestra la velocidad ordenada aplicada para la bomba de aceite, ya que esta es de velocidad variable.
- Punto de ajuste presión de aceite (Setpoint Oil Pressure): muestra el punto de ajuste de la presión del aceite que la bomba de velocidad variable controla para el compresor. Durante la pre-lubricación y para los primeros 15 segundos el sistema arranca y es programado, en este caso, para una presión constante de 35 PSID.

## 2.6 BOMBA DE ACEITE

Durante la operación normal del chiller, el LED de la bomba de aceite debe estar siempre encendido y la bomba funcionando, siempre que el compresor lo esté. Cabe reiterar que en un paro del sistema por cualquiera que sea el motivo, la bomba continuará operando durante 150 segundos, y el sistema no podrá arrancar en este intervalo de tiempo.

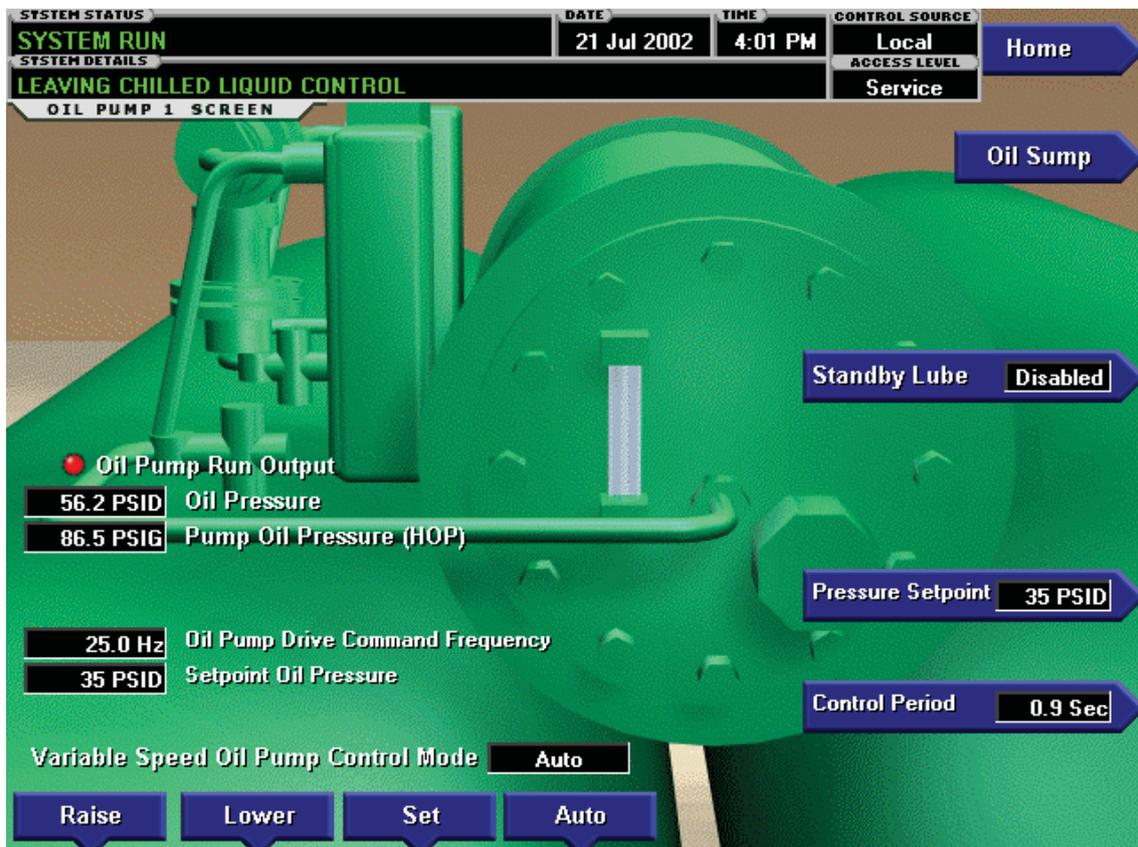


Figura 2.8 Bomba de aceite (Extraído de Control center centrifugal liquid chillers, form 160.69.01, 108, York, pag. 72)

- Confirmación de operación de la bomba de aceite (Oil Pump Run Output): se ilumina cuando la bomba de aceite de velocidad variable esta operando, de otra manera este LED se apagará.

- Presión del aceite (Oil Pressure): Muestra la diferencia de presiones entre el transductor de la bomba de aceite (HOP) para el compresor y el transductor de presión en el depósito de aceite (LOP).
- Presión de la bomba de aceite (Pump Oil Pressure HOP): Muestra la presión del aceite del lado de alta medida a la salida del cojinete del compresor.
- Comando por frecuencia en bomba de aceite (Oil Pump Drive Command Frequency): Muestra la velocidad ordenada aplicada para la bomba de aceite, ya que esta es de velocidad variable.
- Punto de ajuste presión de aceite (Setpoint Oil Pressure): muestra el punto de ajuste de la presión del aceite que la bomba de velocidad variable controla para el compresor. Durante la pre-lubricación y para los primeros 15 segundos el sistema arranca y es programado, en este caso, para una presión constante de 35 PSID.
- Comando para controlar la bomba de aceite de velocidad variable (Variable Speed Oil Pump Control Mode): En esta opción se puede poner el funcionamiento de la bomba en modo automático o manual.
- Sistema de Lubricación de reserva (Standby Lube): Permite al usuario habilitar o deshabilitar el sistema de lubricación de reserva. Cuando esta opción esta habilitada provoca que la bomba de aceite de velocidad variable opere por dos minutos en intervalos de 24 horas mientras la Maquina Centrífuga de Refrigeración esta apagada.
- Punto de ajuste de la presión (Pressure Setpoint): Esta tecla permite al usuario definir el punto de ajuste para la presión del aceite que la bomba de aceite de velocidad variable del compresor controlará durante la operación. El rango de operación establecido por el fabricante será de 20 a 45 PSID.
- Periodos de Control (Control Period): permite al usuario definir los intervalos de salida de los comandos de velocidad de incremento o decremento para la bomba de aceite de velocidad variable del compresor. Por defecto el intervalo es de 900 milisegundos. El rango es de 300 milisegundos a 2.7 segundos y es programado para incrementos de 300 milisegundos.
- Aumentar (raise): Con la bomba de aceite operando, esta tecla pone a la bomba de aceite de velocidad variable en modo de control de velocidad manual, e incrementa el comando de la velocidad por 0.5 Hertz cada vez que es presionado el botón.
- Disminuir (Lower): Con la bomba de aceite operando, esta tecla pone a la bomba de aceite en modo de control de velocidad manual y disminuye el comando de velocidad por 0.5 Hertz cada vez que es presionado el botón.
- Velocidad Predeterminada (Set): Esta tecla permite al usuario especificar una velocidad fija con la cual la bomba de velocidad variable del compresor arrancará cuando el control de velocidad este en modo manual. Este rango va de 25 a 60 Hz.

- Auto: Esta tecla le devuelve el control automático de velocidad a la bomba de aceite de velocidad variable del compresor. Donde el comando de velocidad esta basado en el punto de ajuste establecido para la presión del aceite.

## 2.7 CÁMARA DE CONTROL DE FLUJO DE REFRIGERANTE

La cámara de control de flujo de refrigerante, se encuentra soldada en la parte interior del condensador para permitir un drenaje total del refrigerante proveniente del condensador y hacia el evaporador, ésta cámara contiene un control de flujo del tipo orificio de posición variable.

La siguiente pantalla muestra un corte del condensador junto con el sensor de nivel del líquido refrigerante y el orificio de control de flujo. Los puntos de ajuste o Setpoints relacionados con el nivel de líquido refrigerante, están reunidos en esta pantalla.

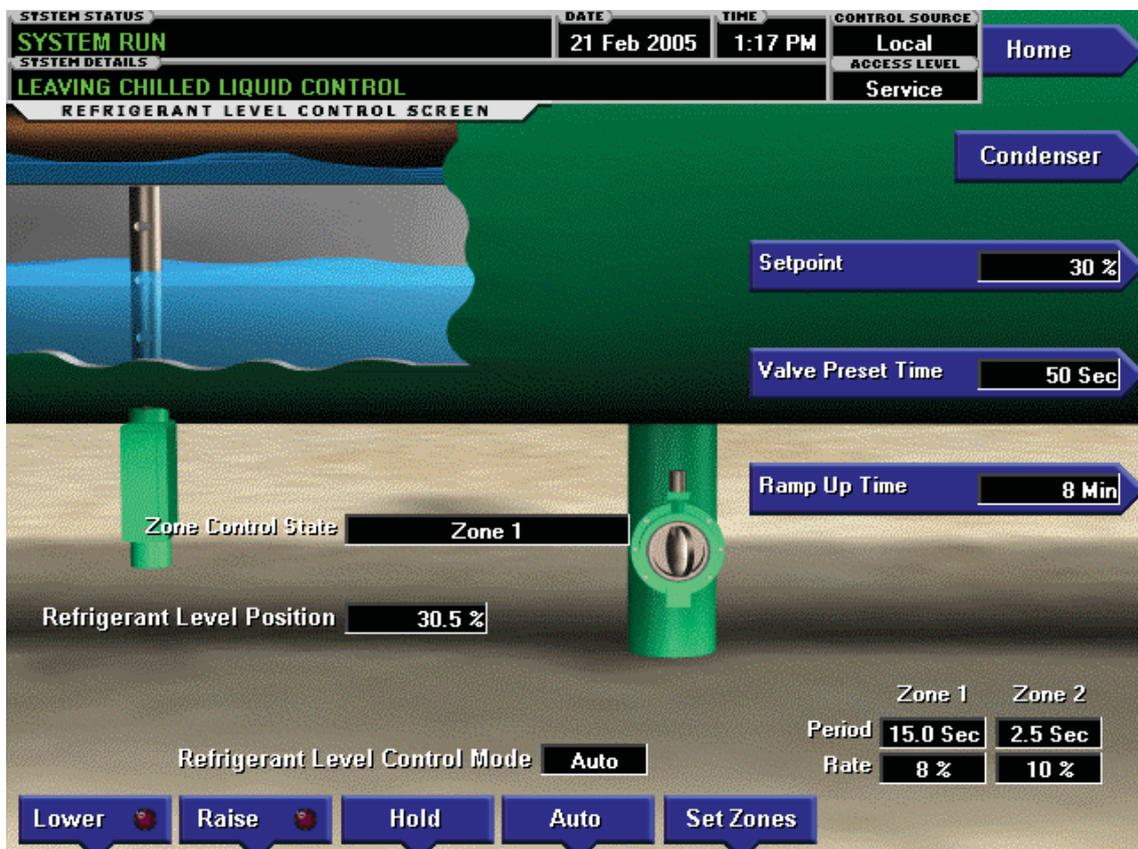


Figura 2.9 Cámara de control de flujo de refrigerante (Extraído de Control center centrifugal liquid chillers, form 160.69.01, 108, York, pag. 34)

- Nivel del refrigerante (Refrigerant Level Position): Muestra la posición actual del líquido refrigerante. El nivel del refrigerante también es mostrado en la animación de la vista de corte del condensador.
- Opción de control del nivel del refrigerante (Refrigerant Level Control Mode): Indica si el nivel de control de líquido, esta bajo el control manual o automático.
- Subir (Raise): se encuentra en posición “encendido” o “on” cuando el dispositivo digital que controla el modo que sube el nivel del refrigerante esta encendido.

- Bajar (Lower): se encuentra en posición “apagado” o “off” cuando el dispositivo digital que controla el modo que baja el nivel del refrigerante esta encendido.
- Estado de control de zona (Zone Control State): Muestra el estado de control de la zona (zona 1, zona 2, zona 2 a zona 1), que esta actualmente surtiendo efecto para el control del nivel del refrigerante. Se muestra la leyenda “Zone Control Off” ó control de zona apagada, cuando la Maquina Centrifuga de Refrigeración esta apagada.
- Punto de ajuste (Setpoint): Especifica el nivel de refrigerante deseado para ser mantenido en el condensador.
- Tiempo programado para la válvula (Valve preset time): muestra la duración de los pulsos de pre-posicionamiento (cerrado) durante la pre-lubricación del compresor líder
- Tiempo de la rampa de aceleración (Ramp Up Time): Especifica el tiempo de la rampa de aceleración aplicado como objetivo para el nivel del refrigerante cuando esta arrancando el compresor líder.
- Periodo (period): Especifica el periodo de control usado durante la operación de la zona.
- Tasa (Rate): Muestra el índice o la tasa mínima usada durante la operación de la zona.

Como se mencionó al principio, todas las maquinas frigoríficas constan de cuatro componentes fundamentales para poder funcionar, y estos son el evaporador, el condensador, el compresor y el elemento de expansión. Dentro de los equipos de refrigeración, El Chiller centrifugo no es la excepción, se ha dado una definición de cómo funciona el condensador, este consta de un intercambiador de calor tipo tubo inundado y carcasa al igual que el evaporador, en donde las carcasas o los cascos fueron fabricados de placa de acero al carbón y tapados a los extremos por gruesas tapa de acero avellanadas para poder colocar los tubos. Lo anterior porque El Chiller maneja un gran volumen de refrigerante y agua por tal razón se debe construir de un material altamente resistente. Es muy importante recordar que por el lado de la carcasa se encuentra el refrigerante inundando a los tubos que esta totalmente aislado del medio exterior y por el lado de los tubos pasa el agua que se usa para acondicionar los recintos (en el caso del evaporador). En cuanto en el condensador, circula el agua que se utiliza para condensar el refrigerante después de haber absorbido el calor en el evaporador, esta agua circula desde el casco condensador y por medio de un sistema de tuberías llega hacia las torres de enfriamiento lugar en donde cede el calor absorbido en el proceso hacia el medio ambiente, y así se repite nuevamente el ciclo.

Ahora bien, otra parte fundamental es el compresor de tipo centrifugo y su función es la de comprimir el refrigerante para poder aumentar su temperatura y a su vez condensarlo en el casco condensador. Cabe destacar que este tipo de compresor viene equipado con un sistema de compuertas de prerrotacion que sirven para controlar el flujo de refrigerante que pasa por del lado de la succión hacia la descarga del compresor, esto para poder mantener el punto de ajuste de la temperatura de salida del agua helada en el evaporador, programado por el usuario, en este caso el punto de ajuste es de 43°F (6.1°C).

La Maquina Centrifuga de Refrigeración, cuenta con una cámara de control de flujo de refrigerante, este dispositivo se encuentra soldado en la parte inferior del casco condensador. Este elemento sirve para controlar la cantidad de refrigerante que esta contenida en el

condensador y es enviada al evaporador del Chiller Centrifugo. Funciona mediante un tubo colocado verticalmente dentro del condensador, el tubo tiene orificios a lo largo de su estructura que registran la cantidad de refrigerante en el condensador, posteriormente manda una señal a una válvula solenoide situada en la parte e abajo del depósito y abre según la cantidad de refrigerante que necesite el equipo. Un orificio de posición variable es usado para controlar el nivel de refrigerante en el condensador, para el punto de ajuste del nivel del refrigerante programado

## CAPITULO III

### VARIADORES DE FRECUENCIA

#### 3.1 DESCRIPCION Y TIPOS DE VARIADORES DE FRECUENCIA

Para poder controlar la velocidad de los motores de los ventiladores en las torres de enfriamiento, la potencia en los motores de las bombas centrífugas de recirculación de los líquidos, se utilizan equipos conocidos como variadores de frecuencia. Los variadores de frecuencia son comúnmente usados en la industria del aire acondicionado y refrigeración para modular la velocidad de los motores eléctricos, ya sea para ahorro de energía, o bien para controlar la velocidad de los motores.

Un variador de frecuencia (siglas VFD, del inglés Variable Frequency Drive o bien AFD Adjustable Frequency Drive) es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Un variador de frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad. Los variadores de frecuencia, son también conocidos dentro de la industria como drivers de frecuencia ajustable (AFD), drivers de CA, microdrivers o inversores. Dado que el voltaje es variado a la vez que la frecuencia, a veces son llamados drivers VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia).

Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna (CA) está determinada por la frecuencia de CA suministrada y el número de polos en el estator, de acuerdo con la relación:

$$RPM = \frac{120 \times f}{P} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

RPM = Revoluciones por minuto

f = frecuencia de suministro CA (Hertz)

p = Número de polos (adimensional)

Las cantidades de polos más frecuentemente utilizadas en motores síncronos o en Motor asíncrono son 2, 4, 6 y 8 polos que, siguiendo la ecuación citada, resultarían en 3000 RPM, 1500 RPM, 1000 RPM y 750 RPM respectivamente para motores sincrónicos únicamente y a la frecuencia de 50 Hz. Dependiendo de la ubicación geográfica funciona en 50Hz o 60Hz; en nuestra región geográfica, es decir, en México utilizamos la frecuencia de 60 Hertz

En los motores asíncronos las revoluciones por minuto son ligeramente menores por el propio asincronismo que indica su nombre. En estos se produce un desfase mínimo entre la velocidad de rotación (RPM) del rotor (velocidad "real" o "de salida") comparativamente con la cantidad de RPM's del campo magnético (las cuales si deberían cumplir la ecuación arriba mencionada tanto en Motores síncronos como en motores asíncronos ) debido a que sólo es atraído por el campo magnético exterior que lo aventaja siempre en velocidad (de lo contrario el motor dejaría de girar en los momentos en los que alcanzase al campo magnético)

El motor usado en un sistema VFD es normalmente un motor de inducción trifásico. Algunos tipos de motores monofásicos pueden ser igualmente usados, pero los motores de tres fases son normalmente preferidos. Varios tipos de motores síncronos ofrecen ventajas en algunas situaciones, pero los motores de inducción son más apropiados para la mayoría de propósitos y son generalmente la elección más económica. Motores diseñados para trabajar a velocidad fija son usados habitualmente, pero la mejora de los diseños de motores estándar aumenta la fiabilidad y consigue mejor rendimiento del VFD (variador de frecuencia).

El controlador de dispositivo de variación de frecuencia está formado por dispositivos de conversión electrónicos de estado sólido. El diseño habitual primero convierte la energía de entrada CA en CC usando un puente rectificador. La energía intermedia CC es convertida en una señal quasi-senoidal de CA usando un circuito inversor conmutado. El rectificador es usualmente un puente trifásico de diodos, pero también se usan rectificadores controlados. Debido a que la energía es convertida en continua, muchas unidades aceptan entradas tanto monofásicas como trifásicas (actuando como un convertidor de fase, un variador de velocidad).

Las características del motor CA requieren la variación proporcional del voltaje cada vez que la frecuencia es variada. Por ejemplo, si un motor está diseñado para trabajar a 460 voltios a 60 Hz, el voltaje aplicado debe reducirse a 230 volts cuando la frecuencia es reducida a 30 Hz. Así la relación voltios/hertzios deben ser regulados en un valor constante ( $460/60 = 7.67$  V/Hz en este caso). Para un funcionamiento óptimo, otros ajustes de voltaje son necesarios, pero nominalmente la constante es V/Hz es la regla general. El método más novedoso y extendido en nuevas aplicaciones es el control de voltaje por PWM.

#### HVAC users participated in developing the user interface

**Graphical display**

- International letters and signs
- Showing bars and graphs
- Easy overview
- Possible to select 27 languages
- iF awarded design

**Other benefits**

- Removable during operation
- Up- and download functionality
- IP65 rating when mounted in a panel door
- Numerical version also available

**Illumination**

- Important buttons are now illuminated when active

**Menu structure**

- Based on the well known matrix system in today's VLT® drives
- Easy short cut for the experienced user
- Edit and operate in different set-ups simultaneously

**Quick Menus**

- A Danfoss defined Quick Menu
- A Personal defined Quick Menu
- A Changes Made Menu lists the parameters unique for your application
- A Function Setup menu provides quick and easy setup for specific applications
- A Logging menu provides access to operation history

**New buttons**

- Info ("on board manual")
- Cancel ("undo")
- Alarm log (quick access)

Figura 3.1 Display de un variador de frecuencia (Extraído de VLT HVAC Drive operation child's play, Danfoss, pag. 17)

### 3.2 SISTEMA DE AHORRO DE ENERGIA

Los variadores de frecuencia de la planta de agua helada, son controlados por un sistema de ahorro de energía. Cuando baja la carga térmica, el sistema de ahorro de energía detecta la ausencia de calor en el agua helada de retorno; al detectar este parámetro le manda una señal a los variadores de frecuencia tanto de las bombas primarias de agua helada como a las bombas de agua de condensación y a las torres de enfriamiento.

Las bombas de agua helada bajan su velocidad, ya que no se necesitará un alto caudal o un alto "galonaje" de agua refrigerada, a su vez el refrigerante dentro de la máquina centrífuga de refrigeración dejará de ganar calor, por lo tanto no requerirá demasiada agua de condensación para disminuir su temperatura y como consecuencia, el sistema de ahorro de energía también mandará una señal a las bombas de agua de condensación para disminuir su velocidad. Los sensores dentro de la tubería de agua de condensación no detectarán demasiado calor ganado, por lo tanto mandarán una señal a las torres de enfriamiento para bajar la velocidad de los motores de los ventiladores debido a que no habrá la necesidad de que estén prendidos todos, o bien, a su máxima capacidad.

El sistema ahorrador de energía que controla la planta de agua helada es marca Armstrong y es conocido como IPC 11550.

El sistema IPC 11550 es un controlador automático para una planta de agua helada, el cual incluye tres paneles de control

- 1.- El panel maestro IPC 11550.
- 2.- El panel de la estación enfriador bomba IPC 3500.
- 3.- El panel de control de torre ITC 3600.

Los dispositivos que controlan el IPC 11550 son los sensores de temperatura, caudal y presión diferencial que están conectados al panel IPC.

Cinco son los transmisores de temperatura marca RTD T2X Moore Industries, un transmisor de caudal y un transmisor de presión diferencial Dwyer 629.

Los mismos detectan:

1. la temperatura de suministro de agua helada.
2. la temperatura de retorno de agua helada.
3. la temperatura de suministro de agua de condensación.
4. la temperatura de retorno de agua de condensación.
5. la temperatura de aire exterior.
6. el caudal de agua helada.
7. la presión de agua diferencial (conectados a los cabezales de retorno y suministro en la planta de agua helada).

El controlador IPC 11550 envía señales de control a cinco mecanismos de impulsión de frecuencia variable marca ABB ACH550 HVAC AC que controlan:

1. Las 4 bombas centrífugas de agua helada en línea vertical de la marca Armstrong serie 4300.
2. Las 5 bombas centrífugas de agua de condensación en línea vertical Armstrong serie 4300.
3. Los motores de los ventiladores de las 4 torres de enfriamiento (uno por cada torre ubicadas en la parte mas alta.

El sistema IPC 11550 incluye una secuencia lógica y control adecuada para una planta de agua helada de flujo primario variable con enfriadores centrífugos de velocidad y caudal variable que incluye: velocidad de ventiladores de torre, velocidad de bomba de agua de condensación, control de la torre, control de velocidad de las bombas de distribución primaria variable, secuenciación de enfriadores, secuencias de protección de la planta, tendencias, control remoto mediante IP y comunicación en serie.

La interfaz de usuario del IPC 11550 se divide en tres juegos de pantallas: Funcionamiento, configuración y alarmas y solución de problemas.

Dentro de la operación se utilizarán las pantallas de funcionamiento para ver y controlar las bombas primarias de velocidad variable del sistema de aire acondicionado (HVAC) y las bombas de agua de condensación de velocidad variable. Las pantallas de configuración se utilizan para ajustar, ver, guardar y restaurar los valores de configuración específicos del sistema (es decir, número de bombas, rango de zonas, velocidad mínima y máxima, etc.). Las pantallas de administración de alarmas se utilizan para ver las alarmas actuales, con capacidad para almacenar alarmas sin limitación, registrar la hora y la fecha, marcar y enumerar los antecedentes de alarma y una descripción general de la falla cuando se activa una alarma.

La lista de pantallas de cada juego es la siguiente:

Pantallas de funcionamiento del IPC:

- Descripción general del sistema.
  - Ilustraciones dinámicas interactivas.
- Menú principal:
  - Rendimiento de la maquinaria
  - Descripción general del sistema.
  - Circuito de agua helada.
  - Circuito de agua condensada.
  - Pantalla de configuración del IPC 11550.
  - Pantalla de totalización.
  - Pantalla de tendencias.
  - Pantalla de alarmas.



Al prender el sistema se ejecuta la siguiente secuencia:

1. La maquina centrifuga de refrigeración líder muestra como estado: HABILITADA.
2. Las válvulas necesarias para su arranque comienzan a abrirse.
3. Una vez abiertas las válvulas, arrancan las bombas líderes tanto de agua helada como de agua condensada.
4. Después de confirmar dos minutos de flujo de agua continuo, la maquina centrifuga de refrigeración mostrará ARRANQUE, en este momento el IPC 11550 envía una señal a la enfriadora para arrancar.
5. El panel de control o centro de control de la máquina centrifuga de refrigeración al recibir esta señal, inicia su propia secuencia de arranque.
6. El IPC 11550 espera 5 minutos para recibir confirmación de que la maquina centrifuga de refrigeración líder arrancó, si no la recibe, indicará la leyenda ALARMA y las bombas centrifugas correrán por tres minutos más. Al mismo tiempo, una de las otras dos máquinas centrifugas de refrigeración, identificadas como SIGUIENTE 1 se habilitará y comenzará esta misma secuencia. Al recibir confirmación de operación, la máquina centrifuga de refrigeración indicará OPERANDO.

Al apagar el sistema, el controlador ejecuta la siguiente secuencia:

1. La enfriadora(s) que estén operando indicarán PARO.
2. El IPC 11550 disminuye la demanda de la maquina centrifuga de refrigeración, esto toma alrededor de 2 minutos.
3. El IPC 11550 envía la señal de apagado a la maquina centrifuga de refrigeración.
4. El sistema espera unos tres minutos para que el panel de control de la máquina centrifuga de refrigeración se apague.
5. Una vez apagada, las bombas continúan operando por dos minutos más.
6. Las válvulas se cierran y la enfriadora muestra NO LISTA.
7. después de 3 minutos la enfriadora mostrará LISTA.

Si durante la operación de la planta, el controlador determina que no hay suficiente carga térmica, apagará todas las máquinas centrifugas de refrigeración que estén operando y un minuto después de que terminaron su secuencia de apagado, se abrirán las válvulas de la bomba 4 (bomba de reserva), y ésta arrancará a baja velocidad para circular el agua. Después de 10 minutos ó el tiempo que el usuario quiera asignarle, la planta volverá a arrancar.

### **3.4 PANTALLAS DE CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE AHORRO DE ENERGÍA**

Las pantallas de configuración se dividen en tres niveles; los niveles 1, 2 y 3 tienen cada uno el mismo número de pantallas, con diferente nivel de acceso. Las pantallas de configuración de nivel 1 se utilizan únicamente para visualización y no permiten hacer ningún ajuste. Las

pantallas de configuración de nivel 2 se pueden usar para restaurar el sistema. Las pantallas de configuración de nivel 3 se pueden utilizar para cambiar los parámetros de configuración del sistema completo, para guardar y restaurar los valores determinados en fábrica del sistema y para cambiar las contraseñas de acceso. Para tener acceso a los niveles 1, 2 y 3 el operador necesita introducir una contraseña apropiada que le suministra el administrador.

Las pantallas de configuración de nivel 2 también tienen un juego “Restore Default Settings”, para restaurar los valores de configuración predeterminados en cada pantalla. Las pantallas de configuración de nivel 3 también tienen un juego “Restore Default Settings”, para restaurar o guardar los valores predeterminados de cada pantalla.

La lista de configuración es la siguiente:

- Bombas de agua helada.
- Bombas de condensación.
- Torres de enfriamiento.
- Enfriadores.
- Configuración de sensores.
- PID (Tiempo integral de control proporcional integral derivativo) de válvula de derivación.
- Configuración de zonas.
- Configuración del reloj.
- Configuración del correo electrónico.
- Guardar o restaurar parámetros.
- Administración de interfaz del usuario.

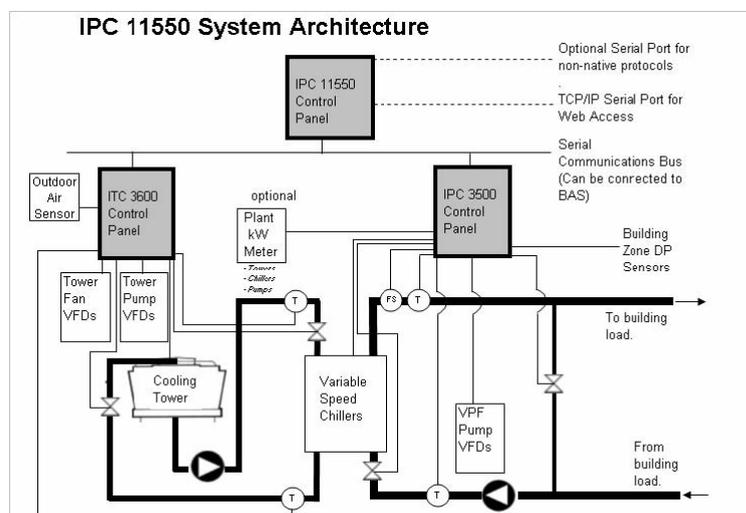


Figura 3.3 Diagrama de control del sistema IPC 11550 (Extraído de Integrated plant control, Armstrong, pag. 5)

Ahora que ya se ha descrito el funcionamiento del controlador IPC 11550, a continuación se enlistan los parámetros tal cual aparece en la pantalla de control para verificar el desempeño de la planta:

- Rendimiento de la maquinaria (Plant performance): Es el menú predeterminado que aparece al encender el sistema o si se toca “plant performance” desde “main menu” o menú principal, aparece la pantalla de rendimiento de la maquinaria.

- Maquinaria kw/Ton (plant kw/TON): Eficiencia total de la maquinaria.
- Caudal primario variable (VPF Kw/TON): Eficiencia de la bomba.
- Torre Kw/TON (Tower Kw/TON): Eficiencia de la torre de enfriamiento.
- Enfriador Kw/TON (CHILLER Kw/TON): Eficiencia de la maquina centrifuga de refrigeración activa.
- Indicador "CDW Kw/TON: Eficiencia de bomba de agua de condensación.
- % de carga capacidad (% load capacity: Muestra la carga/capacidad actual del sistema.
- Temperatura de agua de condensación de retorno (Returning Condenser Water Temperature), se muestra en ° C o ° F.
- Tocando "alarmas" (alarms) en la parte inferior de la pantalla, aparece la pantalla de alarma.
- Tocando "menú principal" (main menu) en la parte inferior de la pantalla aparece el menú principal.
- Tocando "descripción general" (overview) en la parte inferior de la pantalla aparece la pantalla de descripción general.
- En la parte inferior izquierda se encuentran los comandos "encendido" (on) y "apagado" (off), para encender o apagar el sistema de administración de energía Hartman LOOP. (Hartman LOOP Energy Management System).

### 3.4.1 VISTA GENERAL

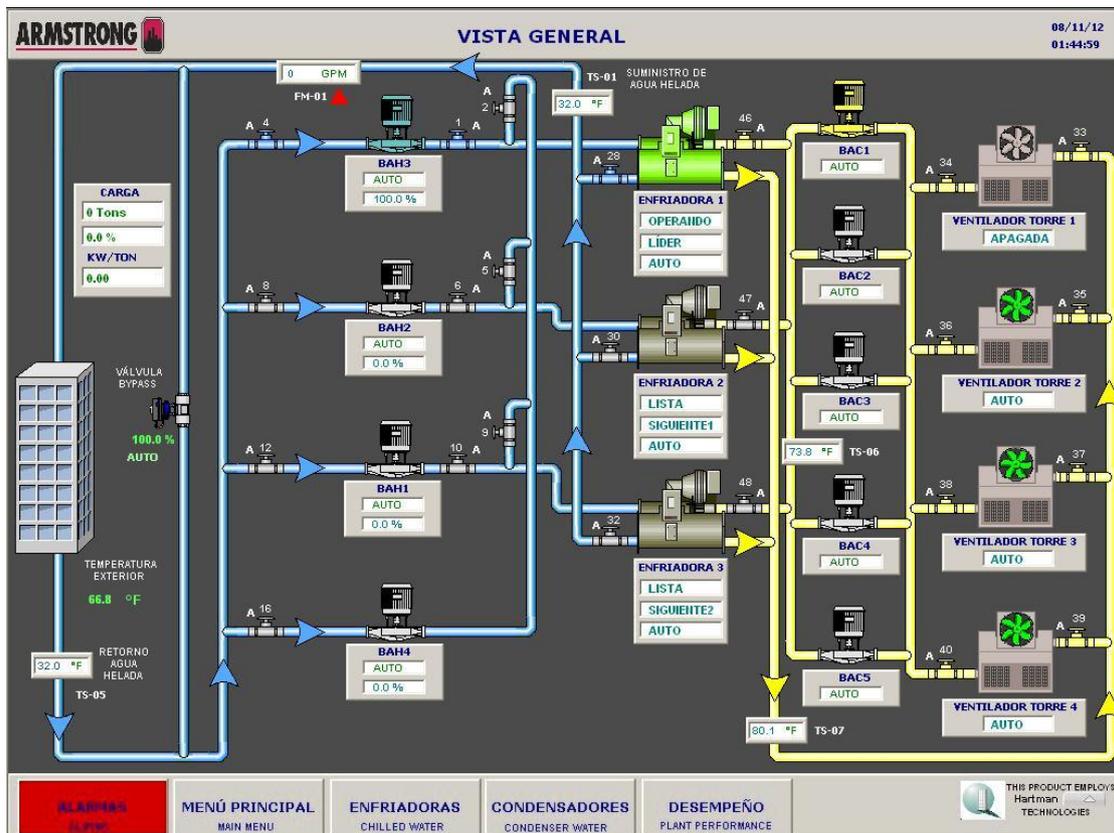


Figura 3.4 Pantalla de vista general (Imagen extraída desde el sistema IPC 11550, Armstrong)

- Esta pantalla muestra de manera resumida todo el sistema, en ella se puede ver el estado de cada equipo, sensor y componente de la planta.
- Las bombas de agua helada aparecen en color gris si están paradas y azul si están operando.
- Las bombas de agua condensada aparecen en color gris si están paradas y en color amarillo si están operando.
- Las enfriadoras aparecen en color gris si están paradas y verde si están operando.
- Los ventiladores de las torres de enfriamiento aparecen en color gris si están parados y en color verde si están operando.
- Las válvulas de agua helada aparecen en color gris si están cerradas y en color azul si están abiertas, las válvulas parpadean de color gris y azul si es que están proceso de abrir o cerrar.
- Las válvulas de agua condensada aparecen en color gris si están cerradas y en color amarillas si están abiertas, las válvulas parpadean de color gris y amarillo si es que están proceso de abrir o cerrar.

- Se indica también la posición de la válvula bypass. Esta válvula normalmente permanece cerrada (0%), solo se abre si el flujo de agua es muy bajo y las maquinas centrifugas de refrigeración requieren mas agua.
- Cada bomba, máquina centrifuga de refrigeración y ventilador de torre de enfriamiento indican su estado debajo del icono. El estado puede ser APAGADA, MANUAL o AUTO.
- Cada válvula tiene una pequeña letra arriba a la izquierda: M significa manual, A significa auto.
- Si hay un pequeño triangulo rojo parpadeando junto a una pieza del equipo, quiere decir que dicha pieza se encuentra alarmada y se debe verificar de inmediato para reparar la falla indicada.

Además, en esta pantalla se muestran otros parámetros muy importantes, tales como:

- Temperatura de suministro/retorno de agua helada (Chilled water supply/return temperature); se puede medir en °C ó °F, y el caudal del agua (water flow), y se mide en (usgpm, Lps,  $m^3/hr$ ).
- Temperatura de agua de condensación de salida/retorno, se mide en °C ó °F.
- Muestra la carga total del sistema en toneladas como porcentaje de la capacidad de la maquinaria.
- Muestra la eficiencia energética total en Kw/TON.
- Muestra el estado (status) de los enfriadores:
  1. No listo (Not Ready).
  2. Listo (Ready).
  3. Habilitado. (Enabled).
  4. Puesta en marcha (Start).
  5. En funcionamiento (Running).
  6. alarma (alarm).

### 3.4.2 CIRCUITO DE AGUA HELADA

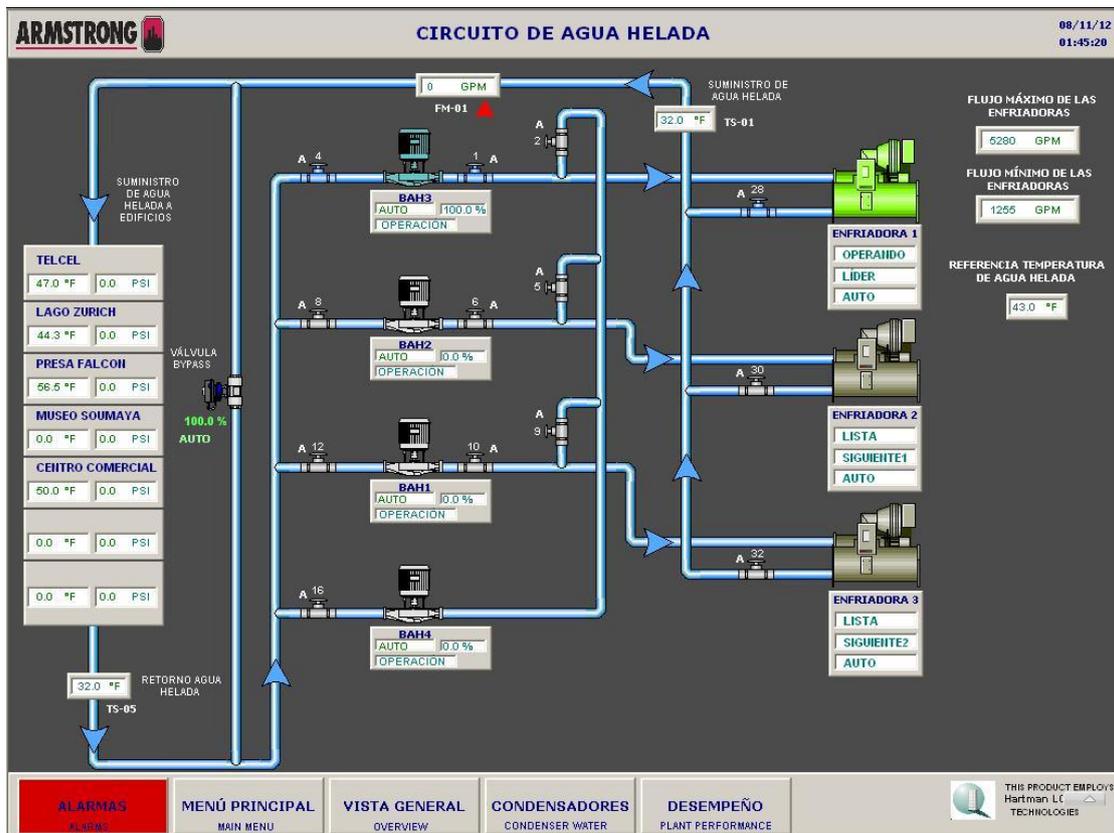


Figura 3.5 Circuito de agua helada (Imagen extraída desde el sistema IPC 11550, Armstrong)

Esta pantalla es similar a la anterior, solo que se muestra únicamente el circuito de agua helada de la planta con mas detalle, se muestra la referencia de agua helada que se esta enviando a las enfriadoras.

- En el primer cuadro del lado izquierdo se puede apreciar la presión y la temperatura de suministro de agua helada de cada uno de los edificios acondicionados y en a parte de abajo hay un pequeño recuadro que muestra la temperatura de retorno de agua helada.
- Muestra temperatura de punto de ajuste (Set Point temperature), temperatura real de agua (Actual water temperature) y temperatura de retorno (Return temperature) del suministro de agua helada en °C o °F.
- Avanzando hacia el lado derecho, se puede apreciar la válvula de bypass, el color como ya se había mencionado indica si esta abierta o cerrada, también se puede leer el modo en el que se encuentra ya sea AUTO o MANUAL y el porcentaje de apertura.
- Finalmente se pueden ver las animaciones de las maquinas centrifugas de refrigeración además del estado de operación en el que se encuentra y datos relevantes tales como: el flujo máximo y mínimo de agua helada y su set point.

### 3.4.3 CIRCUITO DE AGUA CONDENSADA

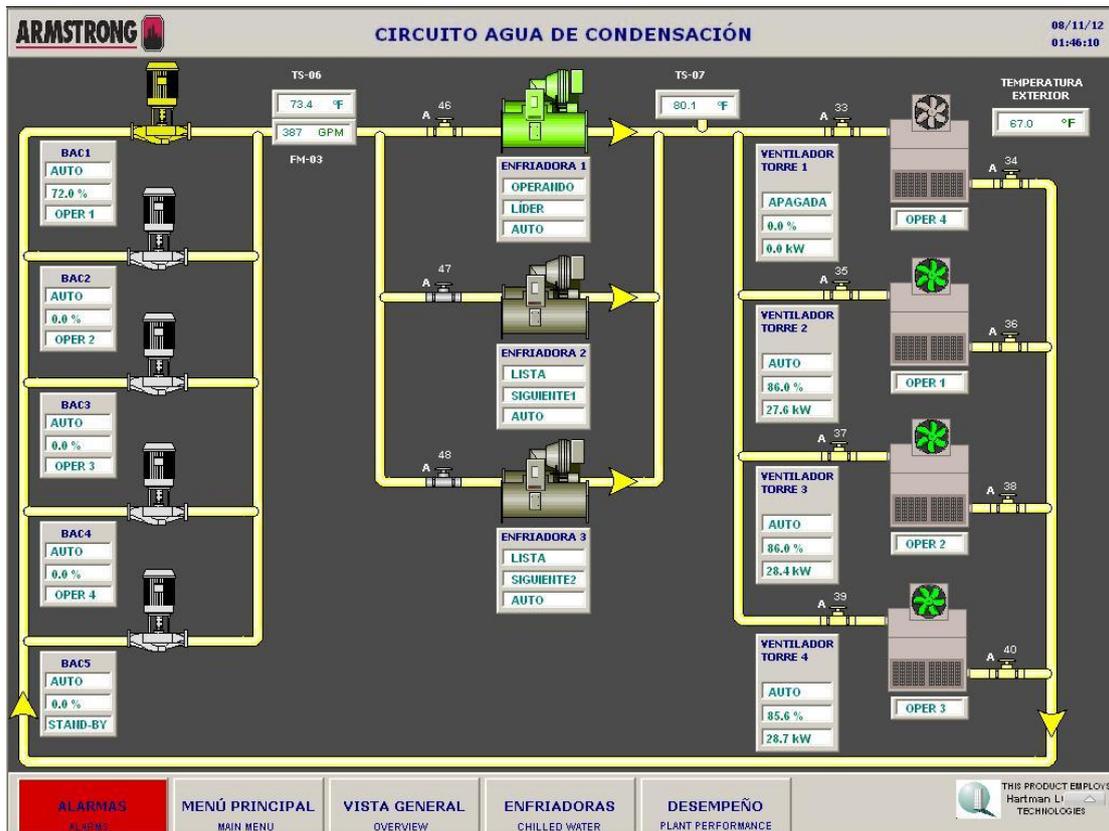


Figura 3.6 Circuito de agua de condensación (Imagen extraída desde el sistema IPC 11550, Armstrong)

Esta pantalla muestra el lado de agua condensada con más claridad y detalle. Se pueden ver las velocidades de operación de las bombas y de los ventiladores, el flujo de agua condensada, así como la secuencia de operación de las bombas.

- Se muestra la temperatura de agua de condensación a la salida (Leaving condenser water) y temperatura de agua de condensación al retorno (Returning condenser water) en °C o °F.
- Se muestra información de las bombas de agua condensada (CW pumps), maquina centrifuga de refrigeración (Chiller) y ventiladores de las torres de enfriamiento (Cooling tower fans).
- Se muestra el punto de ajuste de temperatura de las torres de enfriamiento (Cooling towers temperature setpoint).
- Muestra el estado (status) de los enfriadores:
  1. No listo (Not Ready).
  2. Listo (Ready).
  3. Habilitado. (Enabled).
  4. Puesta en marcha (Start).
  5. En funcionamiento (Running).
  6. alarma (alarm).

### 3.4.4 VENTANAS POP-UPS

En cualquier pantalla, al tocar la bomba, máquina centrífuga de refrigeración o torre de enfriamiento, se abrirá una ventana pop-up que muestra información detallada del elemento seleccionado. Desde estas ventanas pop-up se selecciona el modo de operación del equipo: APAGADA, MANUAL o AUTO.

Si el operador pudiese tener alguna duda sobre la operación de cualquiera de los componentes mencionados, también se puede desplegar una sub-ventana en donde se encuentran los manuales de operación, en ellos se proporciona información detallada de los equipos, además se pueden consultar otros parámetros importantes de los equipos como son los datos de placa y los datos del variador de frecuencia.

Enseguida, se muestra una ventana que corresponde a una de las torres de enfriamiento, en ella se ejemplifica como primer punto, el modo en el que se encuentra operando la torre de enfriamiento ya sea en modo auto o manual; también se puede apreciar en otra sección dentro de la ventana otros parámetros útiles, tales como, el estado en que se encuentra, velocidad, potencia, tiempo de operación y de igual forma indica si es que hay alguna alarma

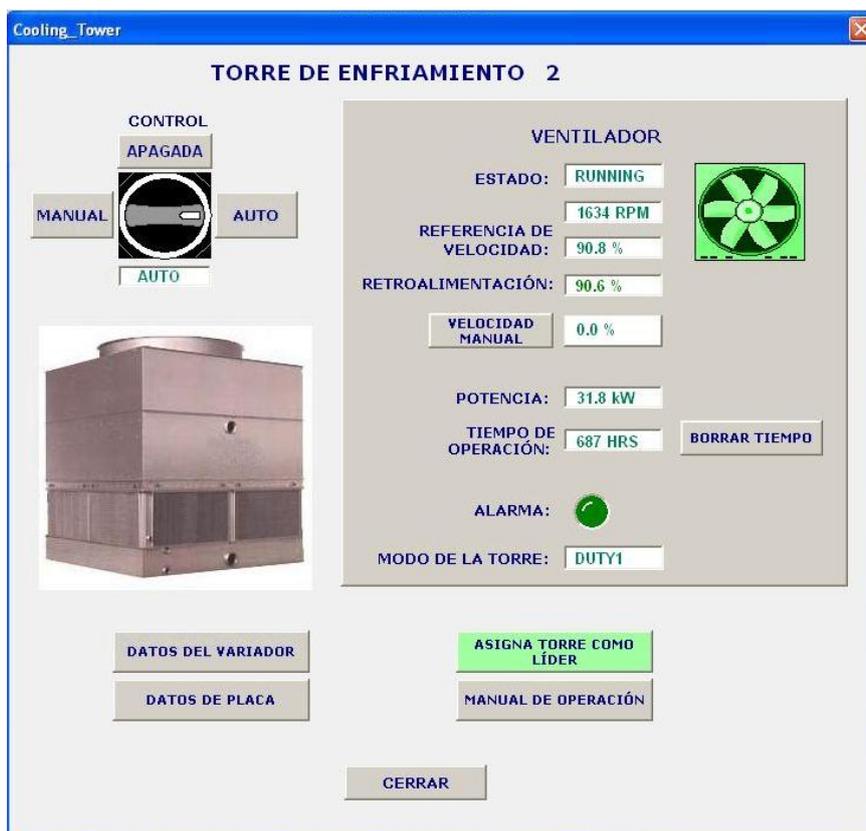


Figura 3.7 Parámetros de operación de una de las torres de enfriamiento (Imagen extraída desde el sistema IPC 11550, Armstrong)

Esta es una ventana que corresponde a una de las máquinas centrifugas de refrigeración.



Figura 3.8 Parámetros de operación del chiller (Imagen extraída desde el sistema IPC 11550, Armstrong)

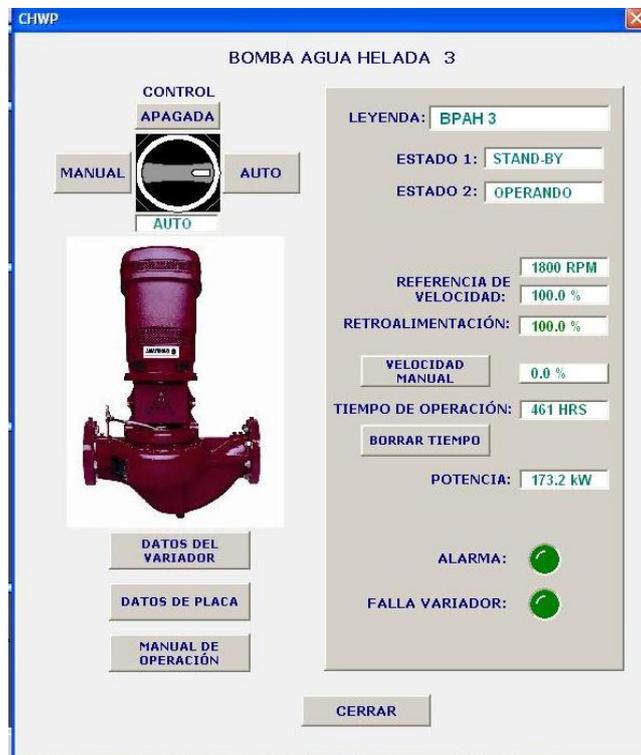


Figura 3.9 Bomba de agua helada (Imagen extraída desde el sistema IPC 11550, Armstrong)



## CAPITULO IV

### SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA

#### 4.1 DEFINICION Y COMPONENTES DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS

Dentro de la literatura podemos encontrar infinidad de definiciones sobre las bombas centrifugas, sin embargo la definición que me parece más interesante, es la que se describe dentro del manual de aire acondicionado de Carrier la cual dice de la siguiente manera:

En refrigeración y acondicionamiento de aire existen dos tipos de bombas centrifugas principalmente.

1. De desplazamiento positivo: de émbolo, rotativas y de tornillo.
2. Centrifugas: con distintos tipos de rodetes, clasificados en rodetes de flujo radial, mixto y axial, dentro de un cuerpo en forma de espiral, llamado comúnmente como caracol o voluta; también existen bombas con difusores al igual que turbinas.

En la siguiente figura se presentaran los dos tipos principales de bombas centrifugas así como los cuatro tipos básicos de rodetes. El rodete de flujo radial tiene álabes de simple curvatura, vueltos siempre hacia atrás. Los rodetes más anchos tienen álabes de doble curvatura en los extremos de succión torcidos. Estos álabes se denominan de flujo mixto (tipo Francis). Los rodetes de flujo extremadamente mixto (componente radial del flujo reducida al mínimo) y los de flujo axial, tienen álabes de forma helicoidal. Las bombas axiales representan hidráulicamente un extremo de una serie continua de bombas centrifugas.

En refrigeración y acondicionamiento de aire la bomba centrifuga que se utiliza con mayor frecuencia es la de flujo radial. Se utiliza para la circulación de agua fría, caliente, agua para la condensación del refrigerante, vapor condensado, salmueras, aceite lubricante o refrigerante.

La bomba centrifuga es de fácil accionamiento. Su par de arranque es pequeño y representa una carga constante durante su funcionamiento. Generalmente para accionar la bomba se utiliza un motor eléctrico de inducción de jaula de ardilla y velocidad constante con un par de arranque normal, aunque también pueden utilizarse turbinas de vapor, motores de gasolina o máquinas de vapor y motores eléctricos con correas trapezoidales.

Los datos característicos de una bomba centrifuga son su capacidad (es decir su caudal en metros cúbicos o litros por hora), la presión correspondiente a dicho caudal (generalmente expresados en columnas de agua) y la potencia necesaria a un número dado de revoluciones por unidad de tiempo.

Existen dos tipos de circuitos de líquido, abierto y cerrado. En los sistemas abiertos la bomba desplaza al líquido desde un manantial situado por encima o por debajo del nivel a que está situada, pero abierto a la presión atmosférica. Sistema cerrado es aquel en el que el circuito de líquido no está abierto a la atmósfera. En los sistemas de refrigeración y de acondicionamiento de aire el más utilizado es el circuito de agua cerrado.

La bomba centrifuga se distingue por la sencillez de su construcción, no obstante las condiciones críticas determinan cada aplicación. En toda bomba centrifuga existen dos elementos

fundamentales: un rodete montado sobre un eje que se apoya sobre cojinetes provistos de empaquetaduras, y una carcasa o cámara de impulsión (voluta). El rodete es el que impulsa el líquido, y la voluta lo conduce desde su entrada hasta su salida, convirtiendo al mismo tiempo la energía cinética en presión.

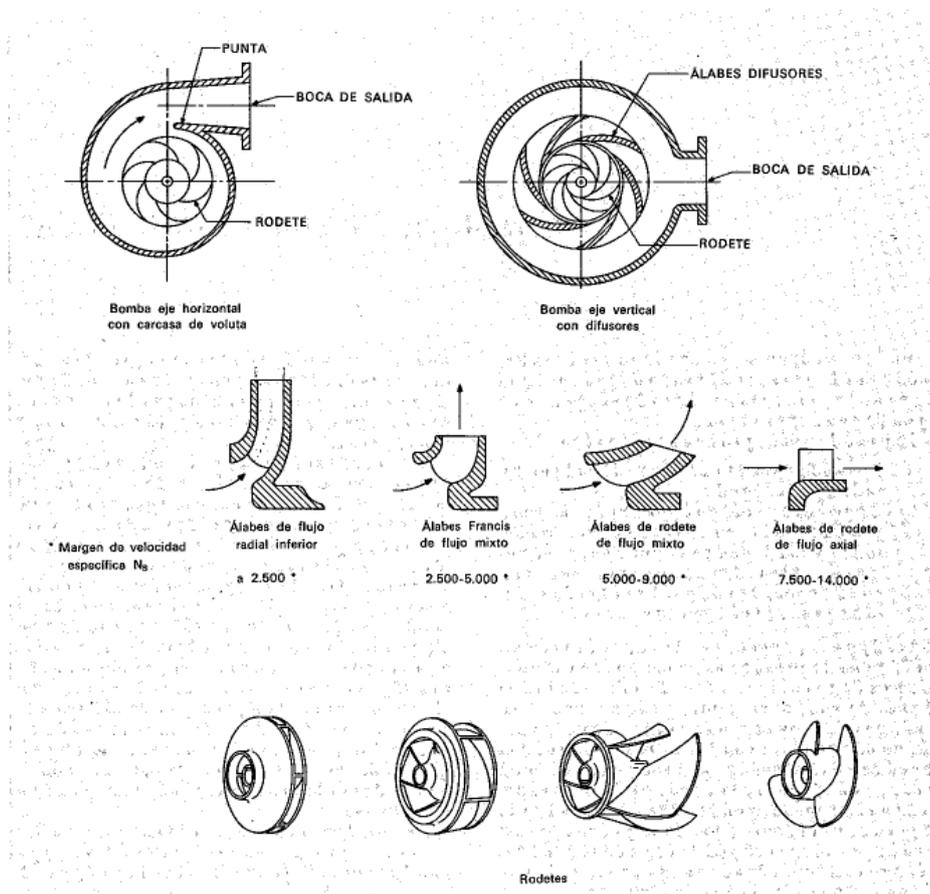


Figura 4.1 Carcasas y rodetes de la bomba centrífuga (Extraído de manual de aire acondicionado Carrier, edit. Marcombo, pag. 627)

### 4.1.1 RODETES

Los rodetes se construyen de forma distinta:

1. Cerrados (los álabes situados entre dos placas laterales).
2. Semi-cerrados (los álabes montados sobre una placa lateral).
3. Abiertos (sin paredes, haciendo la carcasa el efecto de las placas laterales).

La entrada del líquido en la bomba puede hacerse:

1. A través de una entrada con una sola boca de aspiración en el rodete.
2. A través de una sola entrada con doble aspiración en el rodete, entrando el líquido en el mismo por los dos costados a lo largo del eje.

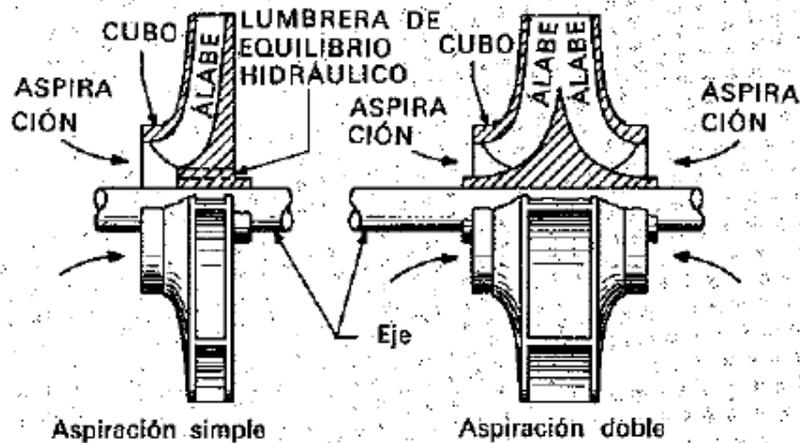


Figura 4.2 Rodetes (Extraído de manual de aire acondicionado Carrier, edit. Marcombo, pag. 628)

La voluta puede estar partida axialmente (horizontalmente, como suele ocurrir en las bombas de doble aspiración) o Radialmente (verticalmente, en las de aspiración simple).

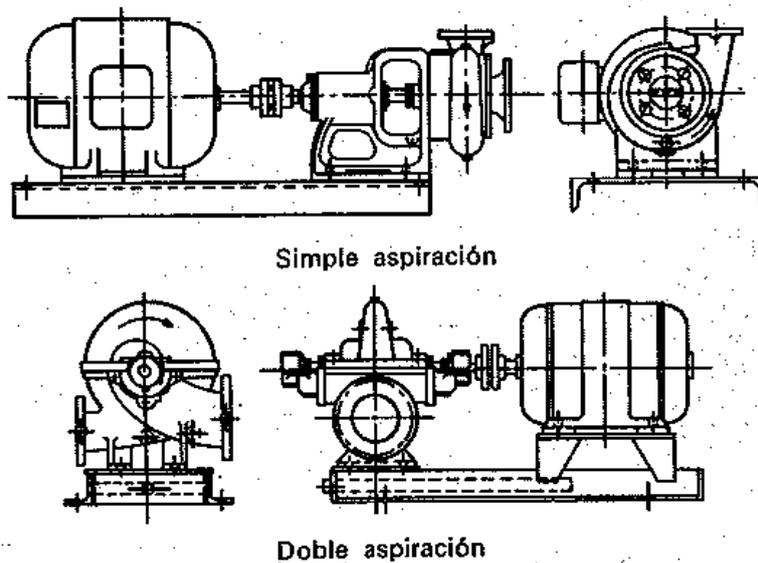


Figura 4.3 Bombas centrífugas de simple y doble aspiración (Extraído de manual de aire acondicionado Carrier, edit. Marcombo, pag. 629)

#### 4.1.2 ACCIONAMIENTO

Los motores mas empleados para mover las bombas centrífugas son los eléctricos. Con bombas pequeñas los motores que más se emplean son los monofásicos con condensador. Entre los polifásicos, los más empleados son los de inducción de jaula de ardilla. En determinadas circunstancias y por razones especiales de distribución de energía o de conveniencia económica del cliente, una bomba puede ser movida por un motor síncrono o de rotor bobinado.

Las bombas de tamaños pequeños se encuentran con frecuencia acopladas directamente al motor; el rodete se monta sobre el eje del motor y la voluta y la carcasa del motor un solo conjunto. Las bombas son accionadas por motores mediante un acoplamiento.

La disponibilidad de vapor puede sugerir el empleo de una turbina. No debe desestimarse esta posibilidad cuando las bombas de agua fría y el agua de condensación del refrigerante pueden ser impulsadas por una sola turbina con un eje común, ya que ambas bombas funcionan simultáneamente. Las bombas de gran velocidad, es decir, las que superan las 3500 RPM son particularmente adaptables a la conexión directa con turbinas.

En casos de emergencia puede disponerse de motores auxiliares para funcionar en el caso de que se averíe el motor principal.

#### 4.1.3 ANILLOS DE DESGASTE

Para cumplir la primera misión de protección, la superficie exterior del cubo del rodete, en la zona de aspiración, y la superficie adyacente de la carcasa, están equipados con anillos de desgaste. Se designan respectivamente como anillo del rodete y anillo de la carcasa. Cuando es necesario a causa del desgaste, solamente se sustituyen anillos, en vez de sustituir todo el rodete o la carcasa. Existen muchos tipos de anillos en cuanto a su diseño y disposición, como es la disposición en laberinto mostrado en la siguiente figura:

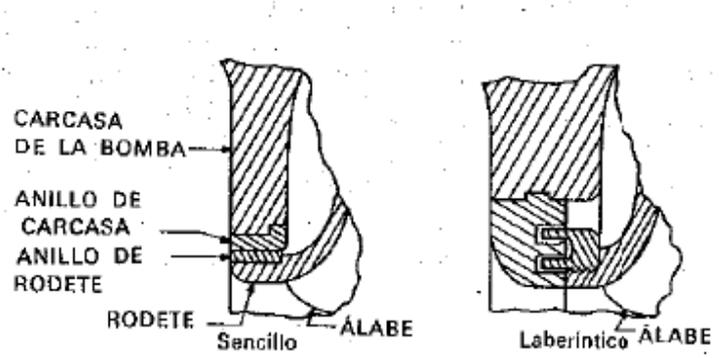


Figura 4.5 Anillos de desgaste (Extraído de manual de aire acondicionado Carrier, edit. Marcombo, pag. 630)

#### 4.1.4 PRENSAESTOPAS

Para evitar las fugas entre el interior y el exterior de la bomba, esta dispone de una caja de prensaestopas o de un obturador mecánico. En la caja del prensaestopas la obturación entre el eje o su manguito y el soporte fijo se realiza por medio de unos anillos de materiales especialmente lubricados como el amianto o empaquetaduras metálicas, que se mantienen comprimidos por medio de un casquillo. Cuando se observan fugas, mediante el casquillo o tapa pueden comprimirse hasta cierto límite con lo vuelve a obtenerse la obturación. La obturación, lubricación y refrigeración se obtienen de la zona de alta presión dentro de la carcasa, o de fuentes externas de la bomba.

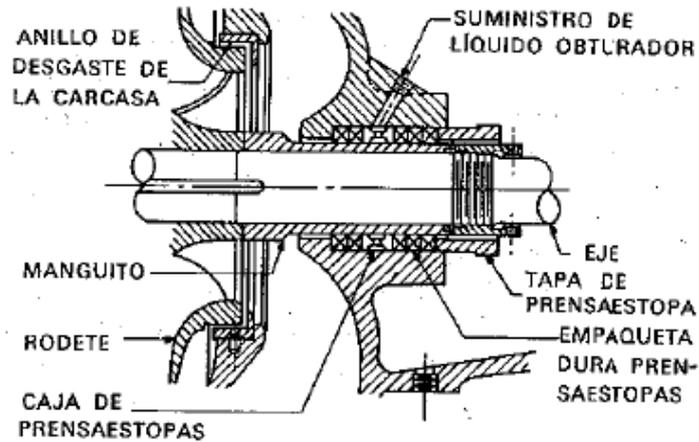


Figura 4.6 Manguito, empaquetadora y caja tapa de prensaestopos (Extraído de manual de aire acondicionado Carrier, edit. Marcombo, pag. 630)

#### 4.1.5 SELLO MECÁNICO

Cuando se manejan líquidos volátiles caros, líquidos altas temperaturas y distintas presiones o, sencillamente, cuando se quiere obtener un cierre muy perfecto, se realiza una obturación mecánica simple o doble, la cual se diferencia de la caja prensaestopos por el sentido de la obturación. El prensaestopos obtura axialmente a lo largo del eje, mientras que el sello mecánico se realiza por el contacto de dos superficies muy pulimentadas de metales diferentes, colocados perpendicularmente al eje. La superficie interior, fijada con un muelle, esta acoplada al eje y gira con él; la superficie exterior se une a la parte fija de la bomba.

Es muy importante que exista una película de líquido entre las superficies interior y exterior, con el objetivo de proveer la lubricación y la refrigeración.

#### 4.3 MATERIALES

Las bombas centrifugas que se emplean en refrigeración y acondicionamiento de aire se construyen con materiales normales, salvo en los casos especiales de bombeo de líquidos como el agua de mar o salmueras muy corrosivas. También se construyen con materiales especiales en los casos en que se trabaja en condiciones forzadas desde el punto de vista hidráulico, o cuando se manejan líquidos a temperaturas muy bajas. En estos últimos casos debe tenerse en cuenta las características mecánicas de los materiales que componen la bomba. Las bombas que trabajan con agua a temperaturas de 150 a 175°C pueden utilizar una carcasa especial de fundición.

Según la terminología del Hydraulic Institute los materiales que normalmente se utilizan en los distintos elementos de una bomba corriente son: Carcasa de fundición de hierro, eje de acero, rodete de bronce, así como los anillos de desgaste y manguito del eje (cuando se utiliza). Una bomba construida de esta forma (rodete de bronce) se le denomina, en general, simplemente de bronce. Si todas las partes de la bomba que están en contacto con el líquido que va a ser bombeado están hechas de bronce, bomba construida toda en bronce. En el caso de que todas las partes sean de acero o fundición, se denomina construcción toda en hierro. No obstante lo dicho, también se emplean otros materiales cuando las necesidades de la bomba lo requiere.

La siguiente figura muestra las partes principales de una bomba construida en bronce

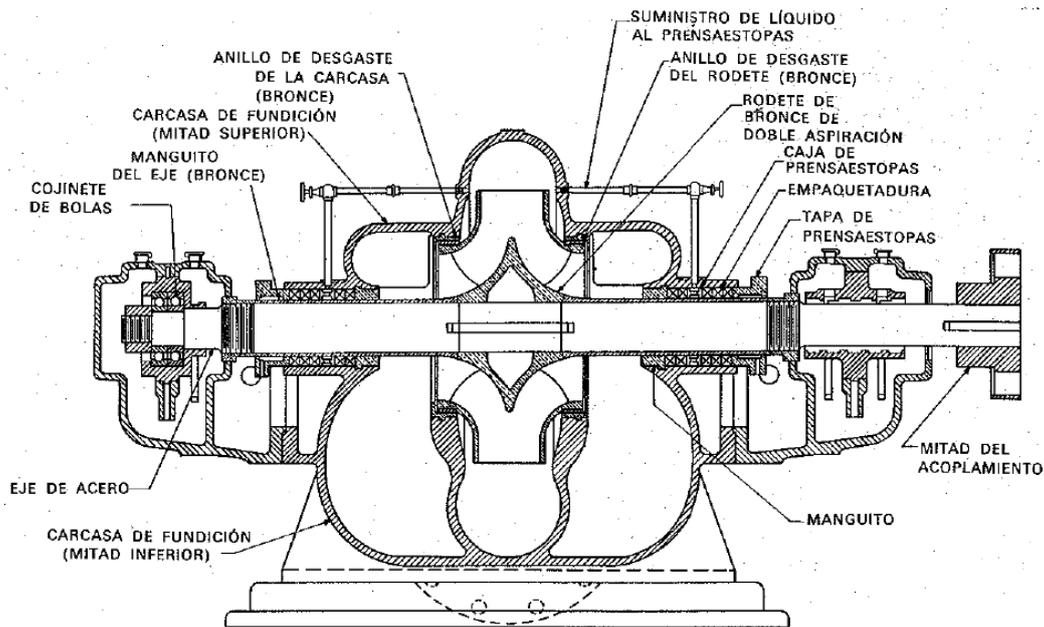


Figura 4.7 Partes principales de una bomba (Extraído de manual de aire acondicionado Carrier, edit. Marcombo, pag. 632)

Existen dos formas de seleccionar los materiales de que debe estar construida la bomba:

1. Si el ingeniero que proyecta la instalación posee una amplia experiencia sobre el caso que se está tratando, es él quien dicta las normas para la instalación.
2. Si el constructor tiene mucha experiencia en la selección de los materiales adecuados, el ingeniero proyectista le proporciona los datos sobre el líquido bombeado, incluyendo la temperatura y características físicas del mismo a esta temperatura, así como las peculiaridades de funcionamiento.

Los cojinetes y otras partes de la bomba que no están en contacto con el líquido se construyen con los materiales más apropiados que se utilizan normalmente en la industria.

Por otra parte, para hacer circular el agua por todo el sistema, se necesitan dos bombas rotodinámicas verticales, que tienen una potencia de 200 caballos de fuerza cada una y funcionan a una tensión de 460 Volts con una corriente máxima de 226 Amperes y una velocidad angular máxima de 1780 revoluciones por minuto, además al igual que los ventiladores de las torres de enfriamiento, tienen la opción de poder modular su velocidad de rotación por variadores de frecuencia. En el caso de las bombas para el agua de condensación, se utilizan los variadores de frecuencia para controlar la presión dinámica en las tuberías y el flujo másico que pasa en el sistema.

Cuando el agua pasa por las torres de enfriamiento, se puede mencionar que es un sistema abierto, ya que el agua de condensación está expuesta directamente al medio ambiente y en el proceso de enfriamiento existen pérdidas de agua porque parte de ella es disipada al exterior de las torres de enfriamiento por diversos factores, tales como evaporación en pequeñas cantidades

o también por acción del viento el agua es expulsada fuera del sistema. Para compensar estas pérdidas de agua y para evitar una caída de presión en el sistema, las torres de enfriamiento cuentan con una toma de agua de reposición que abastece de agua a las torres de enfriamiento reponiendo el agua pérdida en el proceso.

#### 4.4 SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA DE CONDENSACIÓN

La máquina centrífuga de refrigeración esta conformada por dos intercambiadores de calor, uno de ellos es el condensador.

La función del condensador es la de eliminar el calor que fue cedido por el refrigerante al sistema de agua de condensación. La forma en que elimina ese calor, es bombeando el agua relativamente caliente contenida dentro del casco condensador hacia un conjunto de torres de enfriamiento ubicadas en un espacio abierto lejos de la máquina centrífuga de refrigeración. El agua pasa por un sistema de tubos dentro de las torres de enfriamiento y llega hasta la parte mas alta de las mismas, donde el agua es depositada en una charola, después, el agua es distribuida uniformemente por las paredes de las torres, y mientras va cayendo por gravedad hasta el fondo, es enfriada por el aire que pasa a través de las paredes de las torres de enfriamiento, y también con la ayuda de un poderoso ventilador de tipo axial instalado en la parte superior de cada una de las torres.

La velocidad del ventilador de cada una de las torres de enfriamiento se puede controlar con la ayuda de los variadores de frecuencia.

Finalmente, una vez enfriada el agua, regresa nuevamente al casco condensador y así se repite nuevamente el ciclo.

En seguida, se muestra el recorrido que sigue el agua condensada desde que sale del Chiller a una temperatura aproximada de 80°F y regresa a 67°F.

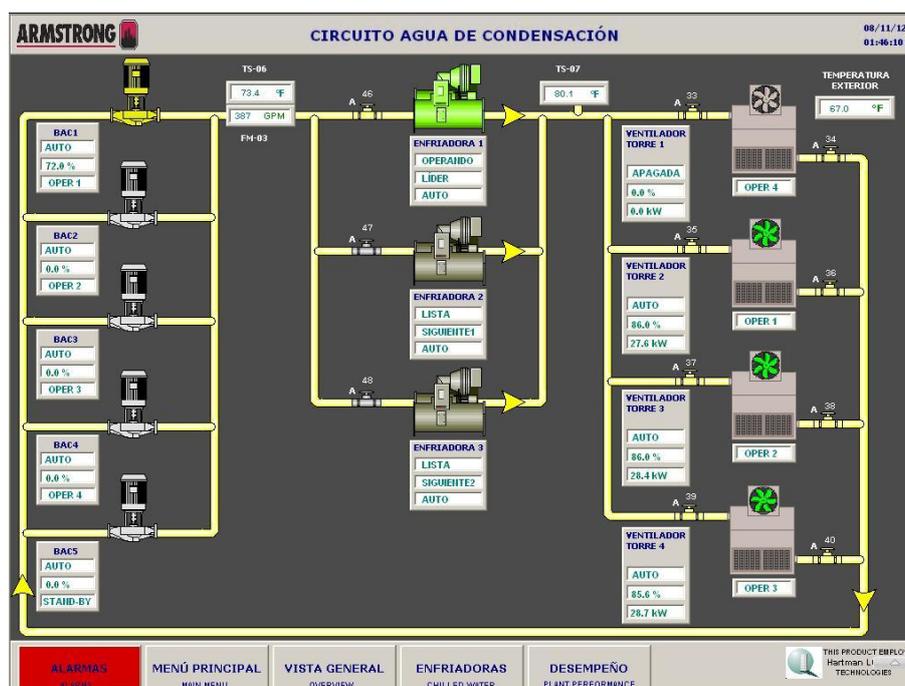


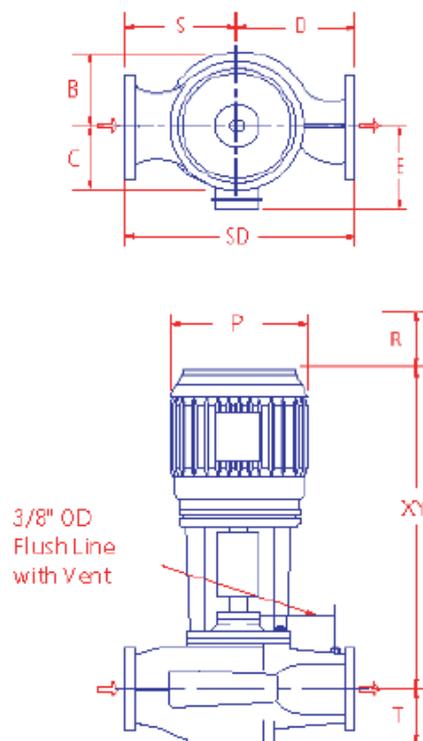
Figura 4.8 Circuito de agua condensada (Imagen extraída desde el sistema IPC 11550, Armstrong)

Para impulsar el volumen del agua de condensación, se utilizan cuatro bombas centrífugas tipo vertical marca Armstrong y una de reserva, con una capacidad de 3825 galones por minuto (US), y una potencia de 200 caballos de fuerza. Normalmente se utiliza una bomba por cada una de las máquinas centrífugas de refrigeración, en el caso de que el agua este regresando muy caliente, se puede ir modulando la velocidad de la bomba desde el variador de frecuencia para que pueda ser enfriado un mayor volumen de agua, y también si esto no llegara a ser suficiente, se puede prender una segunda bomba para poder abatir mas rápidamente la carga térmica.

Si el sistema se encuentra encendido de modo manual, el operador será el responsable de estar visualizando las temperaturas de salida y retorno del agua de condensación. Con esos parámetros, él tomará la decisión de aumentar ó disminuir la velocidad en las bombas de agua de condensación, además de la velocidad de los ventiladores de las torres de enfriamiento para poder controlar la temperatura del agua y mantener el equipo funcionando en las mejores condiciones.

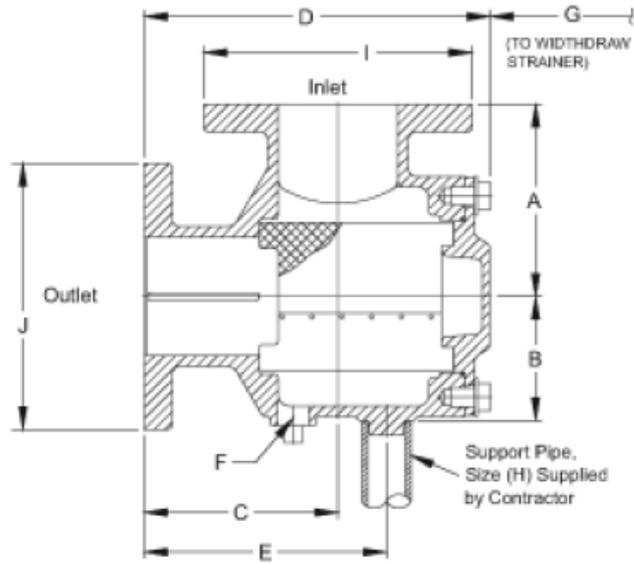
Si el sistema esta funcionando automáticamente con el sistema IPC 11550, el sistema inteligente registrará las temperaturas y presiones del agua y controlará de forma automática la velocidad de las bombas, cuántas bombas deberán estar encendidas, y también cuántos ventiladores en las torres de enfriamiento deberán estar funcionando y a qué velocidad.

En esta figura se muestran las dimensiones de la bomba centrífuga:



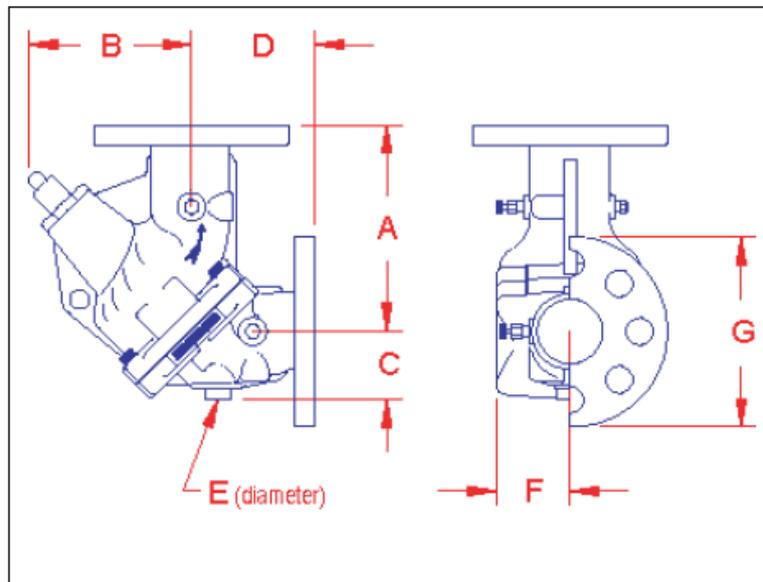
Letra	B	C	D	E	P	S	SD	T	XY	R
Pulgadas	16.13	11.5	24.25	18.13	23.13	22.25	46.5	11.25	64.32	9

Figura 4.9.1 Dimensiones de la bomba centrífuga de agua condensada (Extraído de Project No. 143246.1 rev.1 submittal, Armstrong, pag. 2)



Letra	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Pulgadas	16	10.76	14.18	27.5	20.45	1	19	2	21	19

Figura 4.9.2 Dimensiones de la bomba centrífuga de agua condensada (Extraído de Project No. 143246.1 rev.1 submittal, Armstrong, pag. 6)



Letra	A	B	C	D	E	F	G
Pulgadas	24.07	26.25	7.63	14.05	2.25	12.63	19

Figura 4.9.3 Dimensiones de la bomba centrífuga de agua condensada (Extraído de Project No. 143246.1 rev.1 submittal, Armstrong, pag. 10)

## 4.5 TORRES DE ENFRIAMIENTO

Las torres de enfriamiento se emplean en numerosos casos industriales en los que es necesario enfriar grandes cantidades de agua. En particular, pueden utilizarse para refrigerar agua que viaja por un condensador de una máquina centrífuga de refrigeración.

Su principio de funcionamiento se basa siempre en el fenómeno físico que se expone a continuación:

El paso de un fluido del estado líquido al estado de vapor viene acompañado siempre de una absorción de calor. La absorción de calor debida a la evaporación del agua se efectúa en gran parte en el agua misma, lo que provoca un descenso en la temperatura del agua no evaporada.

El agua que se ha calentado en el condensador llega a la torre a una temperatura entre 30 y 35° C; tras una evaporación parcial, esta agua vuelve al condensador, donde se calentará de nuevo, a una temperatura que va de los 25 y hasta los 28° C.

En la torre de enfriamiento se trata de dividir el caudal del agua de manera que se obtenga una superficie de evaporación muy grande y de airearla energicamente para activar su evaporación. Dicha gran superficie de evaporación puede conseguirse por distintos sistemas:

- Haz de pequeñas traviesas de madera colocadas al tresbolillo sobre las que el agua chorrea por gravedad.
- Haz metálico de láminas horizontales o verticales.
- Chapas o placas estratificadas onduladas.
- Bloque constituido por hojas de material plástico ondulado (nido de abejas).
- Rejas de material plástico superpuestas.

El agua se reparte en la parte superior de la torre mediante rampas fijas, eyectores o una rampa rotativa.

Una ventilación mecánica, por ventilador helicoidal o centrífugo, crea una corriente de aire ascendente en sentido inverso al de la circulación del agua.

Una pequeña parte del agua se evapora, y se recupera la restante ligeramente enfriada en un depósito situado en la parte inferior de la torre.

Las posibilidades de refrigeración del agua son función de la temperatura y del grado higrométrico del aire exterior, o sea, prácticamente, de su temperatura húmeda.

El límite teórico posible de descenso de temperatura sería la temperatura húmeda del aire; en la práctica, al objeto de no llegar a unas dimensiones demasiado importantes para las torres, hay que limitarse a una temperatura de salida del agua superior en varios grados a la temperatura húmeda del aire.

En verano es bastante frecuente trabajar en las condiciones siguientes:

- Temperatura húmeda del aire: 21° C
- Temperatura de entrada del agua: 32° C

- Temperatura de salida del agua: 27° C

Por lo anterior, que se tiene una disminución de 5° C en la temperatura del agua.

Los constructores de esas torres indican las potencias caloríficas que se pueden evacuar en función de la temperatura húmeda del aire y de las temperaturas de entrada y salida del agua.

Es muy importante que estas temperaturas se determinen con exactitud, ya que por ejemplo, una variación de temperatura húmeda de 1°C puede ocasionar una desviación en la potencia liberada alrededor del 10%.

#### **4.5.1 ALIMENTACIÓN DE AGUA**

En el caso de que el agua de red urbana utilizada para la alimentación complementaria esté cargada de sales minerales (principalmente óxido de cal), se recomienda colocar un desmineralizador de agua.

En efecto, la torre funciona por evaporación parcial del agua, con lo que va aumentando progresivamente el contenido de sales minerales en el agua, depositándose en el circuito y produciendo incrustaciones especialmente en los tubos del condensador y del haz de la torre.

Se puede remediar este inconveniente, si el agua no es muy dura, efectuando un vaciado periódico de toda la instalación, o manteniendo en la misma un caudal de salida calibrado, y compensado por la aportación de agua de la red, lo que, además, permite una constante renovación de agua. Es evidente que este sistema, aumenta ligeramente el consumo de agua.

Algunas veces ocurre que en el agua de las torres de refrigeración se presentan formaciones de algas, favorecidas por la temperatura. Existen diferentes productos que, añadidos al agua, impiden la proliferación de las citadas algas.

#### **4.5.2 REGULACIÓN**

Como ya se ha mencionado anteriormente, los condensadores de agua en los acondicionadores de aire que funcionan a base de torres de refrigeración no llevan válvula presostática de agua. La estabilidad de la presión de condensación del fluido frigorígeno se obtiene regulando la temperatura del agua a la entrada de los condensadores, es decir, en la cuba de la torre. Basta colocar un termostato de bulbo en esta cuba y regular con él el funcionamiento del ventilador. Por ejemplo se puede obtener el paro del ventilador si la temperatura del agua es inferior a los 22°C y volverlo a poner en marcha cuando la temperatura supera los 25°C.

Durante la parada del ventilador, el intercambio térmico desaparece y la temperatura del agua aumenta progresivamente.

Por otro lado, tenemos que en invierno, en una instalación que no se ha vaciado y esta parada, es necesario realizar un recalentamiento de agua con el objetivo de evitar la formación de hielo. En este caso, se utilizan existencias eléctricas blindadas inmersas en la cuba. Estas resistencias se regulan mediante un termostato de bulbo que controla la temperatura del agua.

Algunos modelos de torres de refrigeración de agua están provistos de trampillas que permiten regular el caudal del aire aspirado o insuflado por el ventilador y, en consecuencia, modificar las

condiciones de funcionamiento. Estas trampillas pueden regularse a mano o mediante una válvula solenoide.

### 4.5.3 SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA

El agua al estar expuesta al medio ambiente, además de que parte de ella se considera como pérdida por evaporación, el agua que se queda en el sistema absorbe partículas de contaminación que están suspendidas en el aire al pasar por las torres de enfriamiento, esas partículas pueden ser polvo, tierra, ramas de árbol y muchas otras cosas mas que pueden contaminar el sistema e incrustarse dentro de los tubos del casco condensador.

Para eliminar estas impurezas, cada una de las torres de enfriamiento tiene un pequeño sistema de recirculación de agua, el cual esta adaptado en la tina inferior de la torre. El sistema esta equipado con un filtro contenedor en forma de cilindro en donde quedan atrapadas todas las impurezas. La ventaja es que posteriormente el usuario puede abrir el contenedor para limpiarlo y volverlo a colocar.

Este sistema de recirculación de líquidos es impulsado por una pequeña bomba rotodinámica a través del sistema de una manera constante durante la operación de la torre, lo que como consecuencia logra obtener una agua condensada de mejor calidad, la cual será llevada de vuelta a la maquina centrífuga de refrigeración.

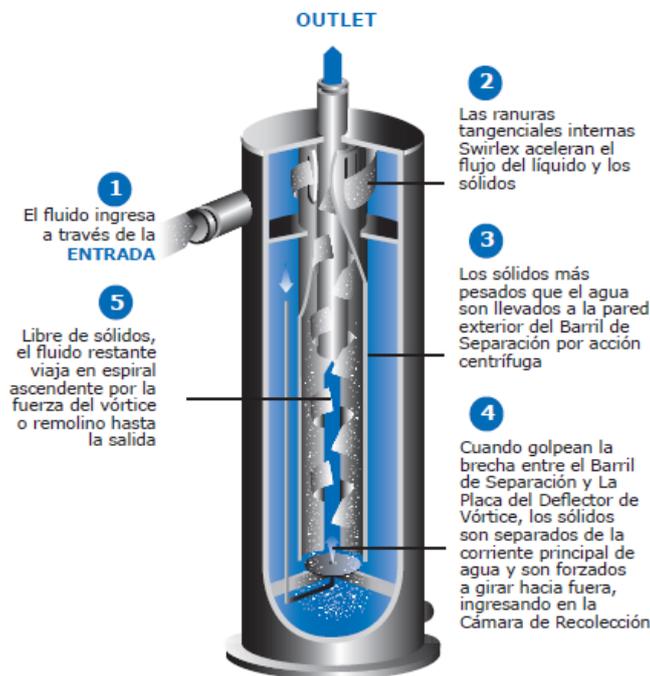


Figura 4.12 Separador de sólidos (Extraído de Forma sls-710a rev 1/07, Lakos, pag. 1)

Una torre de enfriamiento al tener instalado un sistema de recirculación de agua en la tina, obtiene grandes beneficios en la operación y en el mantenimiento, tales como, ahorro de energía, reducen el acumulamiento de materia orgánica y riesgos para la salud, eliminan de forma considerable la limpieza del tanque o de la tina, eliminan la corrosión subyacente y extienden la vida útil de los equipos en cuestión.

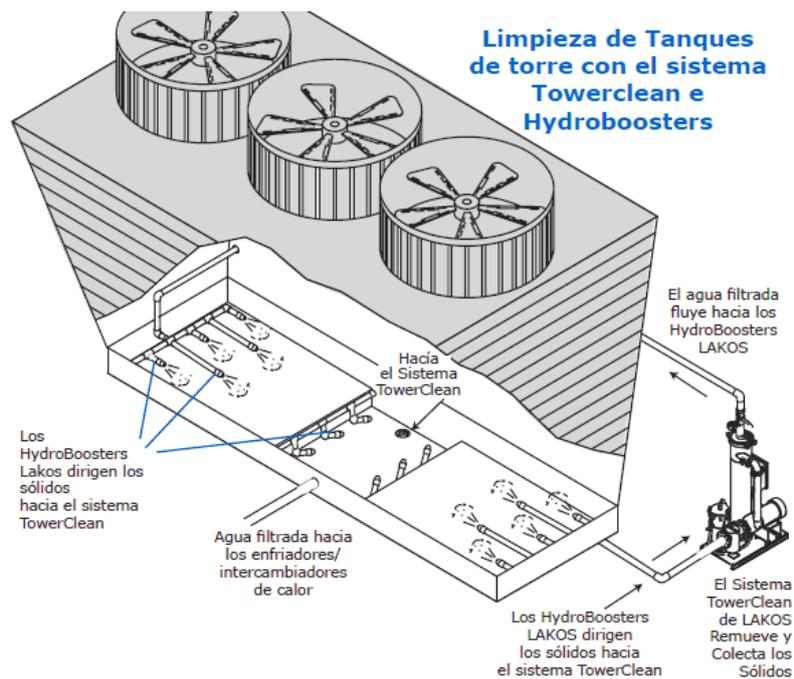


Figura 4.13 Sistema de recirculación de líquidos en la tina (Extraído de [www.lakos.com](http://www.lakos.com))

El sistema cuenta con dispositivos sumergidos en la tina para producir una turbulencia que ayude a maximizar la eficiencia de la limpieza. Estos dispositivos son conocidos como hydroboosters, los cuales proveen esa turbulencia con una acción de vórtice o remolino



Figura 4.14 Dispositivos para producir turbulencia en la tina

Sin embargo, antes de que el agua condensada llegue de nuevo al casco condensador, el líquido pasa por un segundo sistema purificador de agua situado junto a las bombas de agua condensada dentro del cuarto de máquinas, este segundo sistema no es más que cilindros separadores de sólidos puestos en forma vertical (uno para cada bomba), en donde las impurezas van quedando estancadas en el fondo por acción de la gravedad al pasar el agua por encima de los separadores de sólidos

#### **4.5.4 REPOSICIÓN DE AGUA**

Una torre de enfriamiento pierde agua por evaporación, por el tiro y por el drenaje. La evaporación se calcula aproximadamente en un 1% del agua total que circula por el condensador por cada 5.5°C de margen. La pérdida de tiro es constante en todos los márgenes y es aproximadamente el 0.2% del agua circulada. El drenaje varía con las condiciones del agua y debe ser establecido en el programa de tratamiento de esta; cuando las condiciones del agua no son extremadas el drenaje es aproximadamente de 0.3% por cada 5.5°C de margen. La cantidad de agua de reposición necesaria se establece por el total de todas estas pérdidas. El agua puede ser repuesta dependiendo de la demanda mediante una válvula de flotación.

#### **4.5.5 UBICACIÓN DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO**

La ubicación de una torre y orientación se deberán determinar por las siguientes condiciones:

1. Situar la torre de modo que el aire circule y se difunda libre y rápidamente sin recirculación.
2. Situar la torre lejos de fuentes de calor o de aire contaminado tales como chimeneas de humo.
3. Situar la torre distante o a nivel más alto de los espacios ocupados de sus alrededores cuando en éstos existan bajos niveles ambientales de sonidos.
4. la ubicación de una torre a nivel inferior al del equipo de refrigeración puede dar lugar a dificultades de sifonaje o sobreflujo en los periodos de inactividad. Si el agua es sifonada desde el condensador, éste puede ser deteriorado por el impacto del agua cuando se pone en funcionamiento la bomba.

Si la torre está distante a la máquina centrífuga de refrigeración o a un nivel inferior, la bomba de agua del condensador suele ser colocada adyacente a la torre. Con una torre situada a nivel superior se puede emplear una bomba del tipo vertical en lugar de una bomba horizontal. Una torre de enfriamiento de acero o madera montada sobre una azotea debe estar soportada por un entramado de acero. El proyecto de un depósito de hormigón debe incluir rejillas de aspiración; en algunas torres los fabricantes ofrecen una tubería vertical de suministro hasta el sistema de distribución de agua situada en el centro de la celda. En ciertas instalaciones, esta disposición puede mejorar el aspecto de la instalación y reducir la complejidad de la tubería.

## 4.6 SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA HELADA

Como ya se había mencionado, La máquina centrífuga de refrigeración cuenta con un sistema independiente de circulación de agua para cada uno de los cascos intercambiadores de calor con los que esta equipada, en el evaporador circula el agua helada que se encarga de abastecer a los equipos de acondicionamiento de aire, tales como son los fan and coil's y las unidades manejadoras de aire para los espacios acondicionados.

Todo el calor que es absorbido por el agua helada en los recintos, es traído de vuelta por convección hacia la maquina centrífuga de refrigeración por medio de un sistema de tuberías instalado por toda la plaza y el agua es impulsada por un conjunto de bombas centrífugas. Cuando ya esta de regreso el agua, el Chiller la recibe relativamente caliente aproximadamente a unos 57°F (13.8°C) en donde la vuelve a enfriar al setpoint programado de 43°F (6.1°C) y es enviada de vuelta para volver a repetir el proceso.

Para que el agua helada sea bombeada hasta el último equipo instalado en el circuito de acondicionamiento, se cuenta con tres sistemas de bombeo de agua helada.

### 4.6.1 SISTEMA PRIMARIO DE AGUA HELADA

El sistema primario de agua helada consta de 4 bombas verticales tipo centrífugas, teniendo en cuenta que la planta de agua helada tiene 3 Chiller's, la bomba restante sirve como respaldo en el caso de que se tenga que dar mantenimiento, o bien, si pudiese fallar alguna de ellas. Las bombas verticales utilizadas son de la marca Armstrong, tienen una capacidad de flujo de 3772 galones por minuto (US), una potencia de 200 caballos de fuerza y funcionan a una tensión de 460 voltios.



Figura 4.15 Bombas primarias de agua helada

El sistema primario de bombeo de agua helada, también tiene la opción de poder ser operado en modo manual o en modo automático; si se esta operando la planta de agua helada en modo manual, se debe encender solo una bomba por cada una de las máquinas centrifugas de refrigeración, además de verificar que las válvulas de entrada y salida de la bomba en operación estén abiertas. Las válvulas de las bombas que no estén funcionando deberán permanecer cerradas

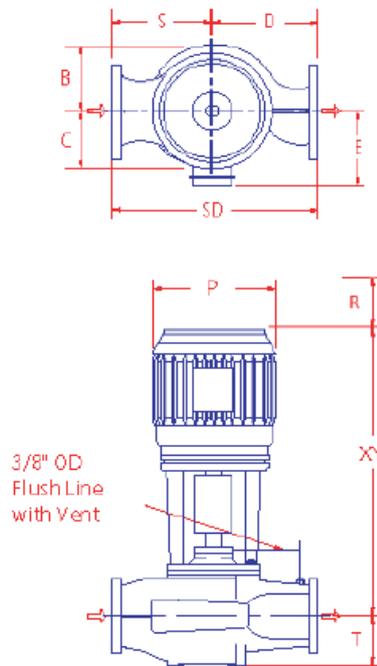
La velocidad a la que se deberán encender las bombas normalmente es al 100% desde el inicio en rampas de 3 etapas, es decir, primero se encienden a una velocidad del 30% de la capacidad de la bomba, luego a 60% y finalmente al 100%. En el caso de existir una presión mayor a la de diseño que es de  $11.23 \frac{kg}{cm^2}$  a la descarga, se tendrá que bajar la velocidad a las bombas desde los variadores de frecuencia, hasta estabilizar la presión nuevamente al valor antes mencionado.

Cabe destacar la importancia de que el técnico operador este registrando constantemente la presión en los manómetros del sistema de bombeo, debido a que si se sobrepasa la presión de diseño, el agua helada dentro del sistema puede alcanzar una presión muy elevada y llegar a escaparse del sistema por el punto más frágil, desacoplando alguna brida o rompiendo alguna tubería en cualquier parte del sistema. Por otro lado, si falta agua en el sistema, la máquina centrifuga de refrigeración puede alarmarse y dejar de funcionar, detectando la falta de flujo dentro del casco evaporador, por lo que de inmediato se deberá llenar el sistema mediante una válvula de recuperación de agua ubicada en uno de los edificios del conjunto hasta alcanzar la presión correcta de funcionamiento.

Si el sistema es encendido en modo automático, el controlador IPC 11550, modulará automáticamente la velocidad en las bombas primarias de agua helada, controlando la presión y la velocidad en los motores de las bombas dependiendo de las necesidades del sistema, es decir, modulará de tal forma que la presión de descarga en las bombas siempre será en promedio  $11.23 \frac{kg}{cm^2}$ ; además de la apertura y cierre de las válvulas de entrada y salida de la bomba que este operando en el momento. Bajo esta circunstancia, el operador únicamente tendrá que llevar un registro del comportamiento de los variadores de frecuencia de las bombas, anotando datos de operación, tales como frecuencia (en Hertz), porcentaje de operación y presión en las bombas.

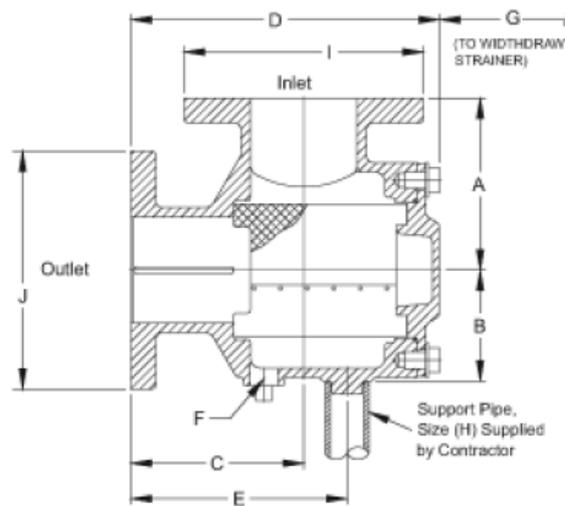
En caso de detectar alguna variación anormal dentro de los parámetros establecidos y el controlador IPC 11550 no pueda controlar dicha variación, el operador tendrá que cambiar el funcionamiento del sistema de bombeo primario a modo manual y posteriormente detectar y reparar la falla en el sistema.

En esta figura se muestran las dimensiones de las bombas centrífugas que pertenecen al sistema primario de agua helada, en la ilustración las dimensiones vienen marcadas con letras y en la tabla de abajo vienen los valores en pulgadas:



Letra	B	C	D	E	P	S	SD	T	XY	R
Pulgadas	16.13	11.5	24.25	18.13	23.13	22.25	46.5	11.25	64.32	9

Figura 4.16.1 Dimensiones de las bombas de agua helada primarias (Extraído de Project No. 143246.1 rev.1 submittal, Armstrong, pag. 5)



Letra	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Pulgadas	17	10.76	15.79	29.25	22.06	1	19	2	23	20.5

Figura 4.16.2 Dimensiones de las bombas de agua helada primarias (Extraído de Project No. 143246.1 rev.1 submittal, Armstrong, pag. 9)

La forma en que es distribuida el agua dentro del primer sistema es por medio de un conjunto de tuberías armadas en forma de anillo, mismo que esta instalado en el primer nivel del sótano a lo largo y ancho de toda la plaza, en donde el agua helada proveniente de la máquina centrífuga de refrigeración es distribuida uniformemente a cada uno de los sistemas de bombeo secundarios ubicados cada uno de ellos justo por debajo del edificio al que proveerán de agua helada.

Es importante mencionar, que cuando se maneja alguna sustancia ya sea caliente o en este caso agua fría (agua helada), la tubería por la cual es transportada la sustancia operante, debe de estar forrada con un material aislante para impedir la pérdida de calor en el caso de que sea agua caliente, o la ganancia de calor en caso de que sea agua helada durante el recorrido, y esta llegue con la temperatura deseada hasta el último equipo del sistema de acondicionamiento de aire.

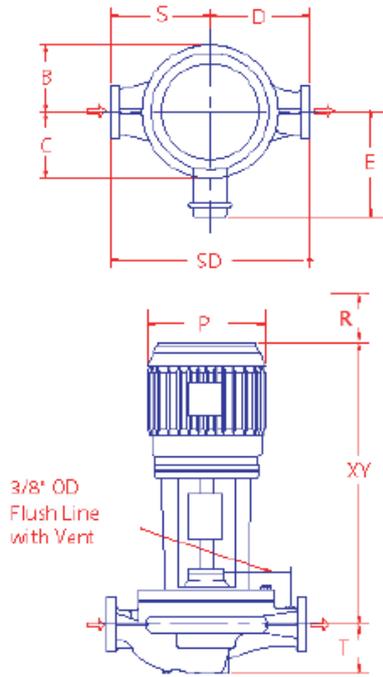
El material con el que están forradas las tuberías de agua helada, además de evitar el intercambio de calor con los alrededores, también sirve para que la humedad presente en el medio ambiente no se condense en las paredes de la tubería. Cuando la humedad presente en el medio ambiente hace contacto con la tubería fría se condensa y pasa a estado líquido lo que llegaría a provocar que se empezara a acumular agua en lugares donde no se necesita e incluso esta agua condensada podría llegar a dañar algún equipo que funciona con electricidad.

#### **4.6.2 SISTEMA SECUNDARIO DE AGUA HELADA**

Ya que se ha distribuido el agua helada desde la máquina centrífuga de refrigeración en una trayectoria en forma de anillo por todo el sótano y con la ayuda del sistema primario de bombeo, el agua helada llega a cinco salas de bombeo secundarias ubicadas también en el sótano, una debajo de cada uno de los edificios al que harán llegar el agua helada. Se describirá sólo uno de los sistemas de bombeo secundario, debido a que resultaría superfluo describir cada uno de ellos porque el funcionamiento es básicamente el mismo.

Cuando el agua helada llega al sistema secundario de bombeo, a diferencia del sistema primario de bombeo que sólo impulsa el agua en forma horizontal y en forma de anillo, este sistema secundario impulsa el agua recibida en forma vertical por medio de 3 bombas verticales tipo centrifugas marca Armstrong a una altura útil de 68 pies (20.72 metros), para que pueda abastecer de agua helada a cada uno de los equipos dentro del edificio. Dos de las tres bombas deben estar funcionando y la tercera bomba se queda como reserva en caso de fallar alguna de las que esta operando. Cada una de las bombas maneja un caudal de 1208.5 galones por minuto, tienen una potencia de 30 caballos de fuerza y funcionan a una tensión de 460 voltios.

En la siguiente imagen se muestran las dimensiones que tienen las bombas centrifugas del sistema secundario:



Letra	B	C	D	E	P	S	SD	T	XY
Pulgadas	11.5	8.87	17	11.75	13.38	22	39	9.75	37.76

Figura 4.18 Dimensiones de las bombas de agua helada secundarias (Extraído de Project No. 134712.1 rev.1 submittal, Armstrong, pag. 6)

Las bombas secundarias también pueden funcionar de manera manual o automática. Cuando son operadas de modo manual la capacidad a la que son operadas es al 75% de su máxima potencia, a modo que conserven la presión de diseño a la descarga de la bomba de  $8.57 \frac{kg}{cm^2}$ . En el modo de funcionamiento manual, se debe pulsar la opción de “Hand” desde la pantalla táctil del controlador de velocidad variable, y posteriormente presionar en la opción que dice “Hand Speed” para ingresar en el controlador el porcentaje de funcionamiento de la bomba.

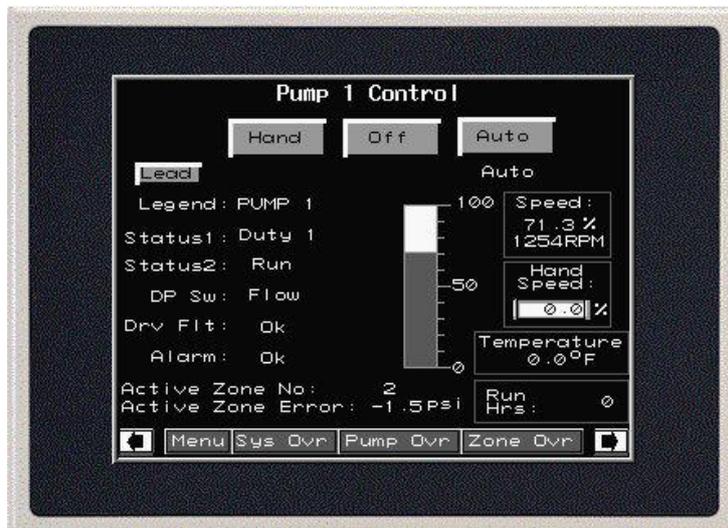


Figura 4.20 Pantalla táctil de control de la bomba (Extraído de Sistemas de bombas integradas, controlador IPS 5000, archivo No. 90.81 SP, Armstrong, pag. 111)

### 4.6.3 CONTROLADOR DEL SISTEMA SECUNDARIO DE AGUA HELADA

Si se opta por la alternativa de utilizar el sistema de bombeo secundario en modo automático, se utiliza el controlador de velocidad variable IPS 5000, sirve para ahorrar el consumo de energía eléctrica en el sistema de bombeo. Controla la velocidad de las bombas automáticamente, bajando la velocidad de los motores de las bombas cuando no se necesita un gran caudal de agua helada en los equipos de acondicionamiento de aire.

En el controlador de velocidad variable IPS 5000 se pueden configurar y monitorear los siguientes parámetros:

1. Descripción general del sistema (System overview): Sirve para ver el punto de ajuste de presión diferencial en la zona activa y el valor de presión diferencial real.
2. Descripción general de las bombas (Pump overview): Sirve para ver el estado actual de todas las bombas, la velocidad y la posición del interruptor de presión diferencial para la detección de caudal.
3. Descripción general de zonas (Zone overview): Sirve para ver los puntos de ajuste de presión diferencial en todas las zonas y los valores de presión diferencial reales.
4. Pantalla de alarma (Alarm Screen): sirve para ver cualquier alarma que llegase a presentarse.
5. Pantalla de configuración (Setup Screen): Sirve para la configuración de bomba, punto de diseño y velocidad.



Figura 4.21 Menú principal del controlador de velocidad variable IPS 5000 Extraído de Sistemas de bombas integradas, controlador IPS 5000, archivo No. 90.81 SP, Armstrong, pag. 110)

Una vez configurados los parámetros de operación (esto sólo se hace cuando es instalado por primera vez el sistema), si se quieren poner en marcha las bombas, se debe pulsar la opción "local on" desde el menú principal del controlado de velocidad variable y automáticamente se asignará la bomba líder y cuales de las bombas serán las que arranquen, así mismo cuál será la que permanezca en modo de reserva. Normalmente el controlador de velocidad variable toma esta decisión, comparando las horas de operación de las bombas y las va rotando para que el desgaste sea uniforme en las tres.

La forma en que el controlador toma la decisión de modular la velocidad en las bombas, es por medio de sensores de presión diferencial instalados en algunos puntos dentro de la vertical de agua helada, es decir, por la tubería que sube en forma vertical por el edificio. El controlador es programado para mantener un punto de ajuste de la presión, si la presión se incrementa, mantiene la velocidad angular de la bomba a baja potencia, por otro lado si la presión disminuye comienza a aumentar la potencia en las bombas hasta estabilizar la presión.

El controlador de velocidad variable IPS 5000, puede ser controlado desde el lugar en donde se encuentra físicamente, pero también tiene la modalidad de ser controlado desde un lugar remoto.



Figura 4.22 El controlador de velocidad variable IPS 5000

## CAPITULO V

### INTERCAMBIADORES DE CALOR

#### 5.1 DEFINICIÓN DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR

Un intercambiador de calor es un dispositivo por medio del cual se transporta calor, directa o indirectamente, entre dos caudales de fluidos. En los intercambiadores de calor de contacto directo, el intercambio de calor es entre dos caudales de fluidos, sin intervención de objetos sólidos. Ejemplo de este proceso es una torre de rocío de agua que entra en contacto con un torrente de aire, como ocurre en una torre de enfriamiento.

En los tipos de intercambiadores de calor más usualmente utilizados en los sistemas de Aire Acondicionado, los dos caudales de fluido están separados por una superficie. En los intercambiadores de calor de refrigerante-agua, como los que se usan en los evaporadores de los enfriadores y en los condensadores enfriados por agua, se utiliza una configuración de envolvente y tubos. En donde se requiere un intercambio de aire-aire, como en los sistemas de recuperación de energía, se utilizan intercambiadores de placas aletadas.

En los intercambios de calor agua-agua o salmuera-salmuera, donde es deseable un diferencial mínimo entre la temperatura media de los dos caudales o torrentes, es muy popular utilizar un intercambiador de calor con arreglo de placa y bastidor.



Figura 5.1 Intercambiador de calor de tipo placa y bastidor

En el sistema de aire acondicionado descrito en este trabajo se utiliza este último intercambiador de calor, el que tiene un arreglo de placa y bastidor.

El sistema de tuberías de agua helada se encuentra dividido en dos partes, el primero va instalado desde la máquina centrífuga de refrigeración, en donde el agua helada es impulsada

mediante el sistema primario de bombeo mencionado con anterioridad, hasta el sistema secundario de agua helada situado en el primer sótano de cada edificio. Particularmente en la torre que se está describiendo, el agua helada es impulsada desde el sistema secundario hasta el nivel 12 lugar en donde se encuentran instalados dos de los intercambiadores de calor, (uno por cada lado norte y sur) de tipo placa y bastidor. En el lugar comienza el segundo sistema de agua helada que sale del intercambiador de calor y llega hasta el último nivel del edificio en donde provee de agua helada a todos los equipos que la requieren, impulsada por el sistema de bombeo terciario instalado en el nivel 13 de la torre.

Cuando el suministro de agua helada del segundo sistema de tuberías sale del intercambiador de calor, es suministrada a una temperatura de aproximadamente 7°C, el agua es impulsada por las bombas desde el nivel 12 y llega hasta el nivel 17, regresando al intercambiador de calor a una temperatura aproximada de 10°C.

Llegando el agua al intercambiador de calor, cede el calor ganado al primer sistema de tuberías de agua helada, y el agua con el calor ganado, regresa hasta la maquina centrifuga de refrigeración, en donde es enfriada nuevamente y así se repite nuevamente el ciclo.

En la siguiente figura se describan las partes que componen a al intercambiador utilizado en el sistema:

1. Placa de presión fija.
2. Placa de presión móvil.
3. Barra de soporte superior.
4. Barra de soporte inferior.
5. Columna de soporte
6. Barras de conexión del paquete de placas.



Figura 5.2 Descripción de las partes del intercambiador de calor

La placa de marco fija y la placa de presión móvil son placas de acero denso diseñadas para resistir altas presiones y contener las conexiones de fluidos.

Unas placas térmicas están dispuestas y suspendidas en el marco de la barra de transporte superior y son mantenidas alineadas por la barra de guía inferior. Las barras son sostenidas por la placa de marco en la parte de adelante y por una columna de soporte en la parte trasera cuando es necesario. Para facilitar el mantenimiento, en las unidades más grandes se utiliza un

conjunto de cojinetes de rodillo. Los pernos de ajuste llevan las placas térmicas al contacto metálico mientras comprimen la junta de elastómero lo suficiente como para que selle.

## 5.2 JUNTAS DE UN INTERCAMBIADOR DE PLACAS-BASTIDOR

La junta está diseñada para separar y sellar los dos fluidos y es pegada o es fijada a la placa con un diseño mecánico o sin pegamento.

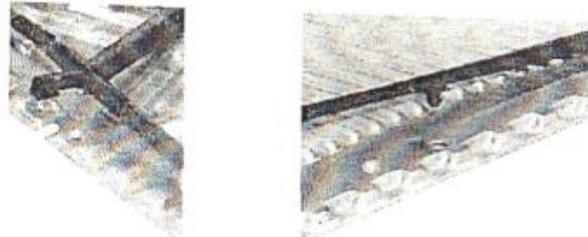


Figura 5.3 Juntas

La parte del anillo circular de la junta evita que el fluido atraviese la placa térmica y lo envía a la siguiente placa abierta o canal. La parte de campo restante de la junta canaliza al fluido opuesto a través de la superficie de transferencia de calor de la placa.



Figura 5.4 Anillos

Cualquier fluido que se fugue de cualquiera de los dos lados saldrá del intercambiador de calor a través de estas ventilaciones. Estas aberturas no se deben taponar ya se podría producir la contaminación cruzada de fluidos.

Con este diseño, cualquier falla de la junta derivaría únicamente en su detección en el exterior del intercambiador de calor, y no se produciría el entremezclado de los fluidos.

## 5.3 DISPOSICIÓN DE PLACAS Y FLUJO DEL INTERCAMBIADOR DE PLACAS-BASTIDOR

Las placas están dispuestas en un patrón alternado estilo “L” (flujo de lado izquierdo) o estilo “R” (flujo de lado derecho) para alternar los dos fluidos opuestos en el intercambiador de calor. El conjunto de placas térmicas entre la placa de marco fija y la placa de presión móvil se denomina paquete de placas.

Para un ensamblado y sellado adecuado de las placas térmicas en el paquete de placas, las mismas se deben disponer alternadamente en estilo L y en estilo R. por consiguiente, el patrón de zigzag de las placas debe alternar en orientación hacia arriba y hacia abajo.

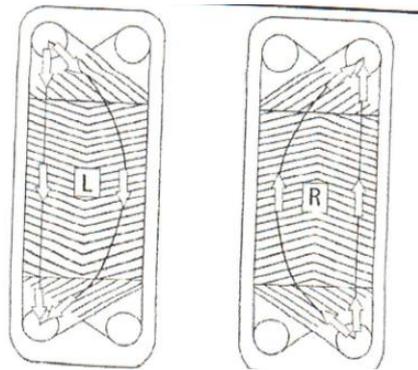


Figura 5.5 Placas del intercambiador de calor

La primera placa o placa de arranque del paquete de placas no tiene fluido en desplazamiento a través de la misma. En su lugar, tiene cuatro juntas anulares que sellan contra el interior de las conexiones en la placa de marco fija. De esta forma los fluidos se desvían hacia canales abiertos en el paquete de placas y no se desplazan entre la placa de arranque y la placa de marco fija.

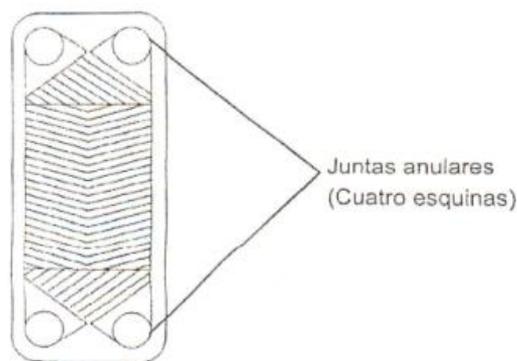


Figura 5.6 Disposición de las juntas anulares en la primera placa del intercambiador de calor

A continuación se encuentran algunas reglas estándar que se deben seguir al realizar tareas de mantenimiento en el intercambiador de calor de placas:

- Todas las placas llevan grabada una L (izquierda) en un extremo y una R (derecha) en el otro, para colaborar con la orientación adecuada de las placas.
- Habitualmente las placas de número impar (1,3,5....) se instalan con la R (derecha) en la parte superior y las placas de número par (2,4,6....) con la L (izquierda) en la parte superior para alternar el flujo de fluido hacia uno y otro canal.

- El patrón zigzag siempre se debe rotar 180 grados de una placa a otra. Por ejemplo si las placas 1,3,5.... Están señalando hacia arriba, entonces las placas 2,4,6... deben estar señalando hacia abajo.
- Se pueden usar placas especialmente perforadas de acuerdo con las siguientes figuras:

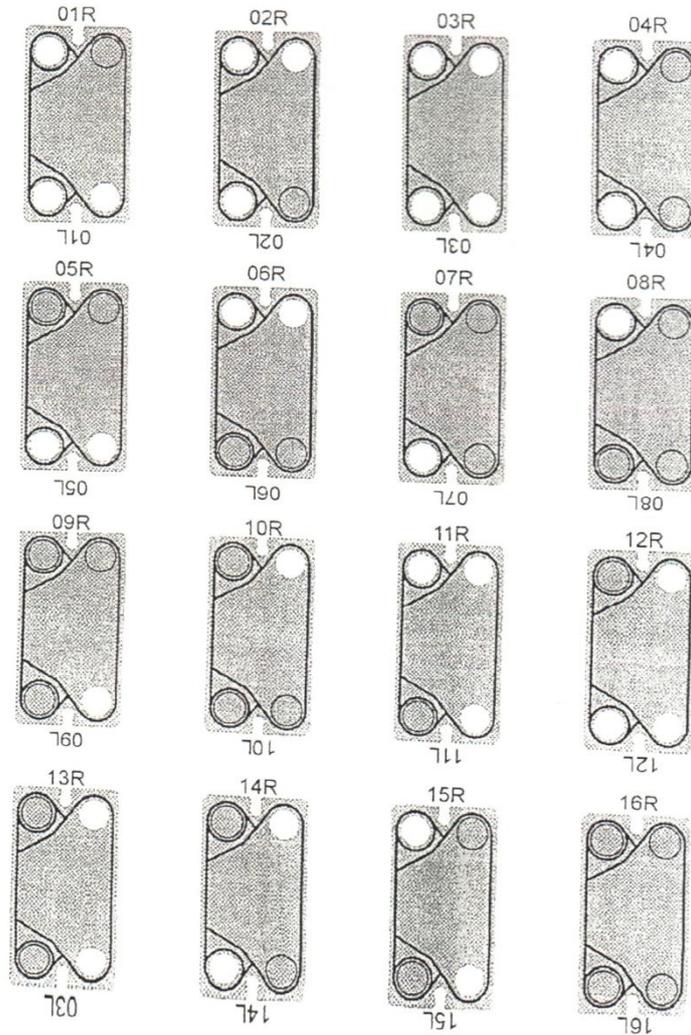


Figura 5.7 Posición de las placas en el intercambiador de calor

#### 5.4 ARREGLO DE LAS TUBERIAS DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS-BASTIDOR

La tubería que va al intercambiador de calor de placas se debe diseñar de manera que su expansión térmica y su peso no ejerzan demasiada fuerza sobre las boquillas, ya que esto causaría fallas prematuras.

Cuando un intercambiador de calor de placas tiene conexiones sobre la placa de presión móvil es necesario tener en cuenta consideraciones especiales:

- Como la placa de presión no esta fija, sus boquillas pueden soportar menos carga que las boquillas de la placa de marco.
- El paquete de placas puede estar sujeto a reajuste durante el servicio de mantenimiento; en consecuencia, al acoplar la tubería a la placa de presión se debe dejar margen para esta diferencia (aproximadamente 1% de la dimensión de ajuste final del paquete de placas).
- La placa de presión se debe mover hacia atrás para el servicio de mantenimiento.



Figura 5.8 Tubería del intercambiador de calor

## **CAPITULO VI**

### **UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE**

#### **6.1 DEFINICIÓN DE UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE**

Las unidades manejadoras de aire son dispositivos que impulsan el aire hacia los espacios acondicionados y funcionan bajo el sistema de ventilador y serpentín. Se puede utilizar tanto en sistemas de aire-agua y sistemas solo agua los cuales serán descritos en este capítulo para un mejor entendimiento

El elemento básico de las unidades manejadoras de aire que funcionan con ventilador y serpentín es un serpentín de tubos con aletas. La sección que contiene el ventilador recircula de manera constante el aire proveniente de los alrededores del equipo y lo hace circular a través del serpentín, al cual se le suministra agua helada ó agua caliente. El ventilador que es de tipo centrífugo es impulsado por un motor eléctrico puesto paralelamente y transmite el par por medio de bandas al ventilador. La unidad puede tener otro serpentín de calefacción, generalmente de resistencia eléctrica, aunque también puede ser de vapor ó de agua caliente. De esta manera el aire que es recirculado al recinto puede ser caliente ó frío dependiendo de las necesidades de los usuarios.

#### **6.2 SISTEMAS QUE UTILIZAN SÓLO AIRE**

Un sistema que utiliza sólo aire proporciona calefacción y humidificación sensibles, así como enfriamiento latente y sensible, por medio del suministro de aire al espacio acondicionado. En tal sistema puede utilizarse agua o algún otro líquido en la tubería que conecta a los enfriadores y los calefactores con el dispositivo de administración de aire.

El sistema que utiliza sólo aire puede adaptarse a todo tipo de sistemas de aire acondicionado para propósitos de confort o para espacios de trabajo. Se aplica en lugares que requieren de controles individuales de las condiciones ambientales y que tienen una multiplicidad de zonas, tales, tales como oficinas, barcos, hoteles y universidades. Para poder controlar el sistema de aire acondicionado de manera individual, se instalan termostatos dentro de la oficina o de otro espacio aislado de los demás, así el usuario puede controlar la temperatura del lugar que está ocupando sin afectar las otras zonas que se encuentran a su alrededor.

La calefacción en caso de que el sistema cuente con esta modalidad, puede suministrarse por el mismo sistema de ductos que se utiliza para el enfriamiento; por medio de un sistema separado o por medio de un sistema de rodapiés radiantes, utilizando agua caliente, vapor o resistencias eléctricas. Existen unidades manejadoras de aire que cuentan únicamente con serpentín de agua helada, sin embargo en los lugares donde el frío es muy extremo, se pueden instalar unidades manejadoras de aire con un serpentín por donde circula agua caliente.

#### **6.3 SISTEMAS MIXTOS AIRE-AGUA**

En los sistemas que utilizan solo aire, los espacios que se refrigeran dentro del edificio se refrigeran utilizando únicamente el flujo de aire suministrado desde el equipo central de acondicionamiento. En contraste, en los sistemas mixtos aire-agua se suministra aire y agua a cada uno de los espacios acondicionados, y de esta manera es como se realiza el proceso de

calefacción y enfriamiento. En casi todos estos sistemas el enfriamiento y la calefacción se realiza graduando la temperatura del aire o del agua o ambas, para controlar la temperatura del espacio acondicionado.

Debido a que el agua tiene mayor calor específico y densidad que el aire, el área de la sección transversal requerida para los tubos de distribución es notablemente menor que la que se requiere para un sistema similar que utiliza sólo aire. Consecuentemente, se requiere menos espacio del edificio para la instalación del sistema de distribución del fluido de enfriamiento.

Para distribuir la reducida cantidad de aire que requiere este sistema generalmente se utiliza un método de distribución de alta velocidad, que minimiza todavía más el espacio requerido. Si el sistema está diseñado para que el volumen del suministro de aire sea igual al volumen de aire necesario para satisfacer los requerimientos del área y para compensar el aire de escape, puede eliminarse el sistema de aire de retorno en las áreas acondicionadas de esta manera.

En general, el caballaje del bombeo necesario para hacer circular el agua a través del edificio es de manera significativamente menor que el caballaje necesario para suministrar y recircular una cantidad de aire térmicamente equivalente. Así, con este sistema no sólo se reduce la porción ocupada por la instalación en el edificio, sino que también se abaten los costos de mantenimiento.

La parte del sistema agua-aire que maneja el flujo de aire consta de un equipo central de acondicionamiento, un circuito de ductos de distribución y una terminal de recinto. El aire primario se suministra a volumen constante. Se le denomina primario para poder distinguirlo del aire del recinto que se circula a través del serpentín de la zona acondicionada.

La parte del sistema agua-aire que maneja el flujo de agua consiste, en su forma básica de una bomba y la tubería necesaria para transportar el agua a la superficie de transferencia de cada uno de los espacios acondicionados. La superficie intercambiadora de calor puede ser un serpentín, que es parte integral de la terminal de aire, un componente completamente separado dentro del espacio acondicionado o una combinación de ambos como ocurre en las unidades tipo ventilador y serpentín

#### **6.4 SISTEMAS QUE UTILIZAN SÓLO AGUA**

Los sistemas que utilizan sólo agua están provistos de ventilador y serpentín, en este sistema de aire de ventilación no acondicionado, es suministrado por rejillas instaladas en las paredes. El enfriamiento se realiza haciendo circular agua helada a través del Serpentín con aletas instalado dentro de la unidad.

Los sistemas de ventilador y serpentín desprovistos de ventilación positiva o que suministran el aire de ventilación a través de una apertura son los de más bajo costo inicial de entre los sistemas perimetrales con estación central. No requieren ductos de ventilación, su instalación es relativamente fácil en edificios ya construidos, y con cualquier sistema perimetral con estación central que utilice tubería para agua en vez de ductos para aire, permite considerables ahorros de espacio en el edificio.

Los sistemas que utilizan sólo agua tienen controles de recinto individuales provistos de termostatos de respuesta rápida y no dependen del aire recirculado de otros espacios acondicionados. Estos sistemas tienen equipo de calefacción y enfriamiento de ubicación remota. Cuando se instalan unidades de ventilador y serpentín provistas de controles de

calefacción y enfriamiento en cada una de las zonas, no se requieren ajustes adicionales. Estos sistemas pueden instalarse en edificios ya construidos con un mínimo de molestias para los usuarios.

El trabajo de mantenimiento y servicio del sistema tiene que ser hecho dentro de las áreas ocupadas. Cada unidad requiere de una línea de drenado del agua de condensado. Los filtros son pequeños e ineficientes, por lo que requieren ser cambiados de manera frecuente para mantener el volumen de aire.

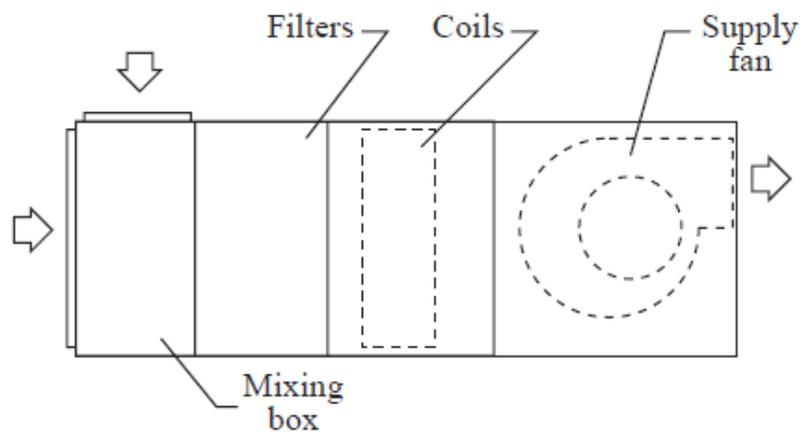


Figura 6.1 Diagrama típico de un sistema de ventilador y serpentín (Extraído de Mechanical Engineering Handbook, Frank Kreith, CRC Press LLC, 1999, pag. 1505)

En el sistema de acondicionamiento de aire expuesto en este trabajo se utilizan unidades manejadoras de aire únicamente de enfriamiento. Las UMAS son proveídas de agua helada desde el sistema central de enfriamiento, que consta como ya se había mencionado con anterioridad de tres maquinas centrifugas de refrigeración.

El agua es distribuida a través del sistema de tuberías hasta la entrada de agua helada de cada una de las unidades manejadoras de aire, el agua pasa por el serpentín de enfriamiento a una temperatura promedio de 7°C, sitio en donde se realiza un intercambio de calor con el aire que circula a través del serpentín de enfriamiento, el cual es impulsado con un ventilador tipo centrifugo con que cuenta la UMA; una vez que se ha enfriado el aire, es circulado por el ducto de inyección a la salida de la UMA a una temperatura promedio de 11.5°C.

El ventilador centrífugo es impulsado por un motor eléctrico tipo jaula de ardilla, mismo que le imparte el par al ventilador mediante un conjunto de bandas. El motor es controlado por un variador de frecuencia ubicado en la parte exterior de la unidad manejadora de aire, según las necesidades que le demande el sistema de automatización, va a aumentar o disminuir las revoluciones del motor y consecuentemente el volumen de aire que es inyectado. Lo anterior es de suma importancia, ya que cuando se alcanza el punto de ajuste de temperatura programado por los usuarios, el sistema automáticamente manda a cerrar las cajas que regulan el flujo de aire ubicadas en distintos puntos del recinto, y si el motor inyectase un volumen constante de aire, los ductos o bien las cajas de volumen variable pueden llegar a reventarse por la necesidad del aire a salir por algún lugar.

Cuando el aire llega a los recintos acondicionados absorbe el calor generado por los usuarios y es traído de vuelta por el pleno de retorno, es decir, por el espacio que queda entre los plafones y la loza del sitio acondicionado. En los plafones del lugar existen rejillas de retorno por donde es recirculado de vuelta el aire hacia la unidad manejadora de aire.

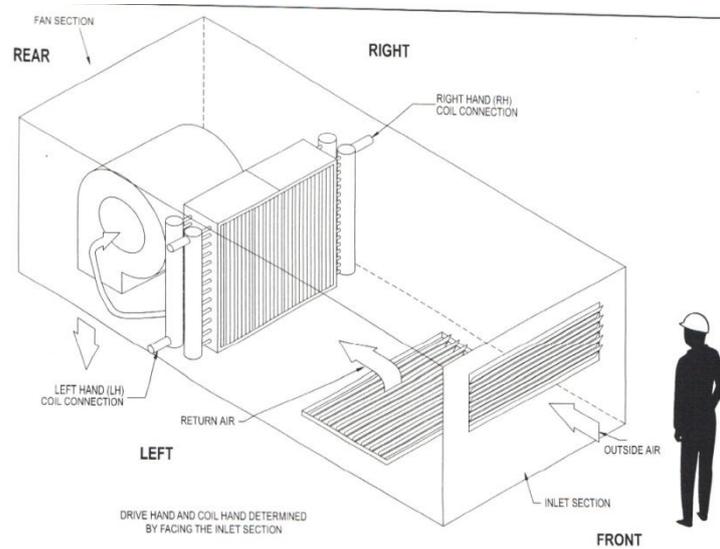


Figura 6.2 Unidad manejadora de aire (Extraído de Air Handling Units, Form 102.20-nl (1108), York, pag 35.)

## 6.5 FUNCIONAMIENTO DE LAS UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE

Las unidades manejadoras de aire funcionan con sistema totalmente automatizado, se pueden controlar parámetros como son: la cantidad de agua helada que pasa por el serpentín, la apertura del ducto de toma de aire exterior y el flujo de aire que es inyectado al recinto.

La cantidad de agua helada que pasa por el serpentín es controlada con una válvula solenoide instalada en la tubería de inyección de agua de la unidad manejadora de aire. La válvula solenoide modula según la cantidad de calor que es absorbida en el serpentín, si el agua esta absorbiendo una gran cantidad de calor, el sistema automatizado lo detecta y manda a abrir al 100% la válvula para circular un mayor volumen de agua, y por el contrario si no hay una alta absorción de calor, la válvula tiende a cerrarse.

En el momento que es encendida la unidad manejadora de aire, el ducto de aire exterior se abre de manera automática sin modular simplemente se abre al 100% de su capacidad y así se mantiene durante todo el tiempo que permanece encendida la unidad manejadora de aire; posteriormente se abre la válvula solenoide que permite el paso de agua helada al 100% de su capacidad, posteriormente modulará según las necesidades del recinto acondicionado al mismo tiempo se enciende el motor que también va modulando su velocidad según la demanda de aire. Generalmente cuando se enciende la unidad manejadora de aire, el motor permanece encendido a su máxima capacidad y la válvula solenoide de paso de agua también se encuentra abierta completamente. Como el motor tiene una gran potencia, cuenta con soportes antivibratorios para evitar el exceso de ruido y el daño de la carcasa de la unidad manejadora de aire por la vibración.



Figura 6.3 Motor y ventilador de una unidad manejadora de aire

Con la intención de inyectar un flujo de aire con la mayor pureza posible, en la parte posterior, la unidad manejadora de aire cuenta con un compartimiento en donde se encuentran ubicados un conjunto de filtros, en ellos se quedan atrapadas las partículas de polvo que viajan en el aire de retorno y también las que son traídas en el ducto de renovación de aire o ducto de aire exterior.

En la siguiente ilustración se puede apreciar el compartimiento en donde son colocados los filtros de aire



Figura 6.4 Compartimiento donde se alojan los filtros

En esta otra ilustración se pueden apreciar los filtros de aire cuando están colocados dentro del compartimiento



Figura 6.5 Filtros de aire

En esta imagen se puede apreciar la toma de aire exterior y el dispositivo que le permite abrirse y cerrarse de manera automática:



Figura 6.6 Toma de aire exterior

La unidad manejadora de aire cuenta con un intercambiador de calor del tipo tubo y aletas, por los tubos viaja el agua helada. El aire entra en la UMA por donde están los filtros, el aire pasa a través del serpentín, finalmente el aire fresco es impulsado hacia los espacios acondicionados con ayuda del ventilador tipo centrífugo.

En la siguiente ilustración se muestra el serpentín con que esta equipada la unidad manejadora de aire:



Figura 6.7 Serpentín de enfriamiento

Ahora bien, en esta otra ilustración se muestra de manera esquemática, cómo está conformada la estructura de un serpentín que maneja un fluido frío:

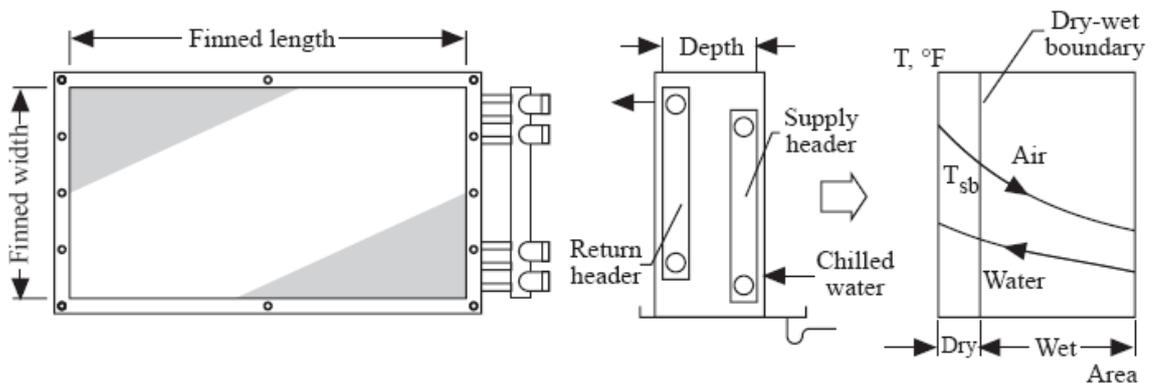


Figura 6.8 Esquema de un serpentín que maneja un fluido frío (Extraído de Mechanical Engineering Handbook, Frank Kreith, CRC Press LLC, 1999, pag. 1509)

En este capítulo se ha descrito el funcionamiento de los distintos tipos de unidades manejadoras de aire; y se puso especial atención en las UMAS que funcionan bajo el régimen “sólo agua”, ya que son los equipos que tiene el sistema de aire acondicionado aquí expuesto, además se describieron los componentes principales con que cuenta la unidad manejadora de aire como son: los filtros, el serpentín de enfriamiento, el motor, el ventilador centrífugo y las tuberías de entrada y salida de agua. En el siguiente capítulo se describirá la forma como se distribuye el aire en los recintos acondicionados.

## CAPITULO VII

### DUCTOS Y DIFUSORES

#### 7.1 DUCTOS

Para que el aire acondicionado pueda ser transportado hasta los recintos a acondicionar, se necesita un medio de transporte resistente y que también pueda mantener la temperatura de inyección de aire adecuada hasta el punto final.

Para cumplir esta misión de forma práctica el sistema debe proyectarse dentro de ciertas limitaciones establecidas de antemano relativas al espacio disponible, pérdidas por rozamiento, velocidad, nivel de ruido, pérdidas o ganancias de calor y fugas.

##### 7.1.1 CLASIFICACIÓN

Los sistemas de conductos de impulsión y de retorno se clasifican atendiendo a la velocidad y presión del aire dentro del ducto.

##### 7.1.2 VELOCIDAD Y PRESION

Existen dos sistemas de transmisión de aire empleados en el aire acondicionado. Los de pequeña velocidad, o sistemas convencionales y los de gran velocidad, estos sistemas se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. Acondicionamiento de aire para locales comerciales.
  - a) Baja velocidad: hasta  $12 \text{ m/s}$ .
  - b) Alta velocidad: más de  $12 \text{ m/s}$ .
2. Acondicionamiento de aire para locales industriales.
  - a) Baja velocidad: hasta  $12 \text{ m/s}$ . normalmente entre  $11$  y  $12 \text{ m/s}$ .
  - b) Alta velocidad: de  $12$  a  $15 \text{ m/s}$ .

Normalmente, los sistemas de retorno de aire, tanto para baja como para alta velocidad de impulsión, se proyectan siempre como sistemas de pequeña velocidad. En aplicaciones comerciales e industriales, las velocidades empleadas en estos sistemas de retorno son:

1. Acondicionamiento de aire para locales comerciales: baja velocidad: normalmente de  $8$  a  $10 \text{ m/s}$ .
2. Acondicionamiento de aire para locales industriales: baja velocidad: normalmente de  $10$  a  $12 \text{ m/s}$ .

Los sistemas de distribución de aire se dividen en tres categorías en cuanto a la presión del aire en el ducto: baja, media y alta presión.

1. Baja presión: hasta 90 mm c.a.
2. Media presión: desde 90 hasta 180 mm c.a.
3. Alta presión: desde 180 hasta 300 mm c.a.

### **7.1.3 GANANCIAS O PÉRDIDAS DE CALOR**

Tanto las ganancias o pérdidas de calor en los ductos de impulsión y de retorno pueden ser considerables. Esto ocurre, no solamente cuando el ducto atraviesa un local no acondicionado, sino incluso cuando los ductos son de gran longitud y atraviesan espacios acondicionados. El calor se transmite de fuera a dentro cuando se está refrigerando un local y de dentro a fuera cuando se impulsa aire caliente a través del ducto.

Para compensar el efecto de enfriamiento o calentamiento de la superficie del ducto es preciso, algunas veces, hacer una redistribución del aire hacia las bocas de impulsión en el trayecto inicial del sistema de conductos.

Para que se puedan comprender los distintos factores que influyen en la instalación de ductos, se exponen las siguientes reglas de carácter general:

1. Cuando la relación entre el lado mayor y el lado menor de la sección del ducto es grande, se tiene más ganancia de calor que cuando es pequeña, para un mismo caudal de aire.
2. Los ductos que transportan pequeñas cantidades de aire a baja velocidad tienen mayores ganancias de calor.
3. El aislamiento de los conductos disminuye las ganancias de calor.

Por lo tanto es una buena norma proyectar sistemas que tengan secciones rectangulares de conducto con una pequeña relación entre sus dimensiones y grandes velocidades de aire para disminuir al máximo las ganancias de calor en los ductos. Si estos han de atravesar lugares no acondicionados, será necesario aislarlos.

### **7.1.4 TRANSFORMACIONES EN LOS DUCTOS**

Se emplean las transformaciones para unir dos ductos de diferente forma o sección recta. Cuando se modifica la forma del ducto rectangular, permaneciendo igual su sección recta, se recomienda una pendiente de 15% para las piezas laterales de la transformación; si ésta pendiente no pudiese realizarse, no deberá sobrepasarse un máximo de 25%. Véase la siguiente ilustración:

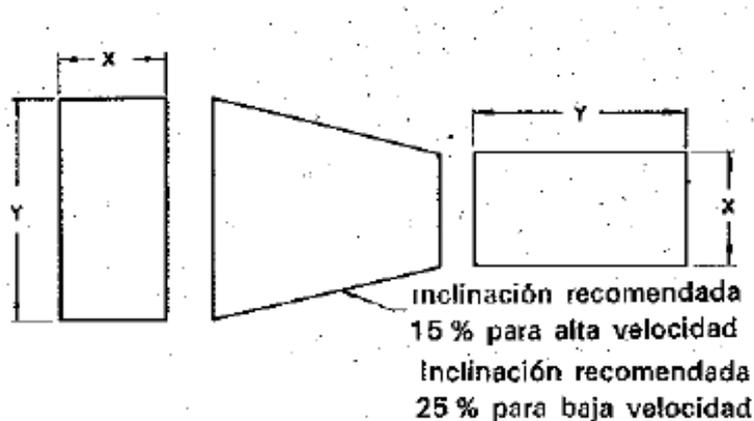


Figura 7.1 uniones entre dos ductos

Con frecuencia debe reducirse el tamaño de los ductos para salvar un obstáculo; en este caso es una buena opción no reducir su sección no más de un 20%. La pendiente más recomendable para reducir la sección del ducto es la del 15%. Cuando se imposible llegar a este valor, puede aumentarse la inclinación hasta un máximo de 25%. Si la sección del ducto aumentase, la pendiente de transformación no debe pasar de 15%. La siguiente ilustración muestra la transformación de un ducto rectangular para evitar un obstáculo:

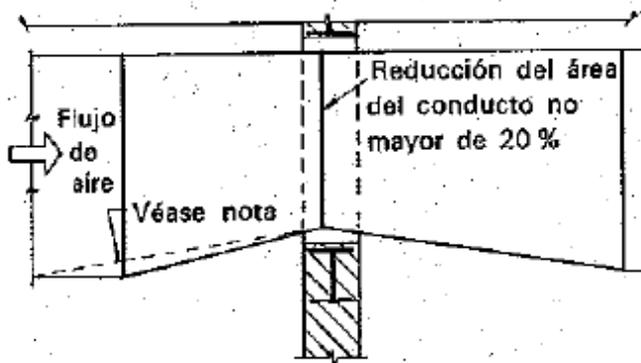


Figura 7.2 Reducción de un ducto para evitar un obstáculo

### 7.1.5 REDUCCIÓN DE DIMENSIONES DE LOS DUCTOS

Los métodos normalmente empleados en el cálculo de ductos, exigen una reducción después de cada boca de impulsión y de cada derivación. No obstante, si esta reducción es inferior a 5 cm, no es conveniente modificar la sección primitiva del ducto porque pueden reducirse los gastos de instalación hasta un 25% aprovechando la misma sección de ducto para distintas salidas de aire. Las dimensiones de los ductos deben reducirse de 5 en 5 cm, preferentemente en una sola dimensión y el tamaño mínimo recomendable para ductos prefabricados es de 20 por 25 centímetros.

### 7.1.6 OBSTÁCULOS

Las tuberías, conducciones eléctricas, elementos estructurales y otros obstáculos, deben evitarse siempre en el interior de los ductos, especialmente en los codos y en las "T". Los ductos de gran velocidad deben evitarse toda clase de obstáculos. Estos originan pérdidas de carga innecesarias y, en los sistemas de alta velocidad, pueden ser fuentes de ruidos en la corriente de aire.

En aquellos casos en que forzosamente dichos obstáculos deban atravesar el ducto, deberán tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Cubrir todas las tuberías y obstáculos circulares de diámetro mayor de 10 cm con una cubierta de forma aerodinámica.
2. También deben protegerse con una cubierta todas las formas planas o irregulares cuya anchura supere los 8 cm. Todos los soportes o apoyos en el interior del ducto deben ser paralelos a la corriente de aire. Cuando esto no sea posible, deben protegerse con una cubierta.
3. Si la cubierta obstruye el 20% de la sección del ducto, éste debe transformarse o dividirse en dos ductos. Tanto si se divide o se transforma, debe mantenerse el área de la sección recta.
4. Si un obstáculo presenta dificultades solo en la esquina de un ducto, se transforma esta parte para evitar el obstáculo, teniendo en cuenta que la reducción no sobrepase el 20% del área de la sección primitiva.

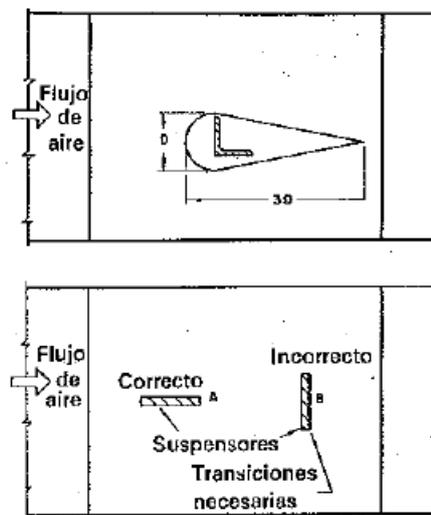


Figura 7.3 Transiciones para cubrir formas irregulares

### 7.2 CODOS

En los ductos circulares y rectangulares pueden establecerse distintos tipos de codos. Los más comunes son los siguientes:

1. Ducto rectangular: codo ordinario, codo reducido con aletas directrices y codo recto con aletas.
2. Ducto circular: codo suave, codo de tres piezas y codo de cinco piezas.

Los codos ordinarios se construyen con un diámetro menor o igual a los  $3/4$  de la dimensión del conducto en la dirección de giro. Un codo con este radio menor tiene una relación  $R/D$  de 1.25. El codo reducido con aletas directrices puede tener una, dos o tres aletas, que extienden por toda la curvatura del codo.

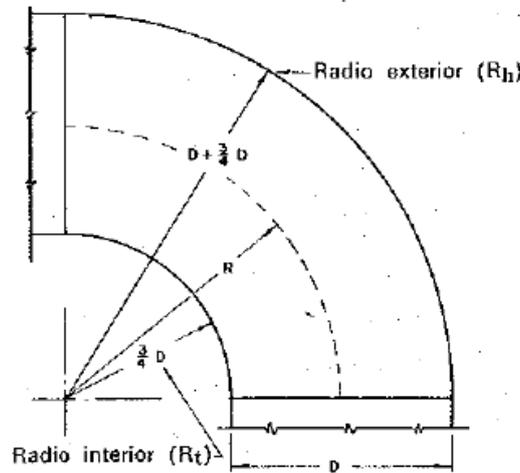


Figura 7.4 Codo de sección rectangular

Un codo rectangular puede tener guías de doble espesor o sencillas. Estos codos se utilizan en aquellos sitios donde, por limitaciones de espacio, no se pueden instalar codos curvos. Este tipo de codo no solo es más caro sino que tiene una caída de presión mayor que el codo reducido y el codo ordinario.

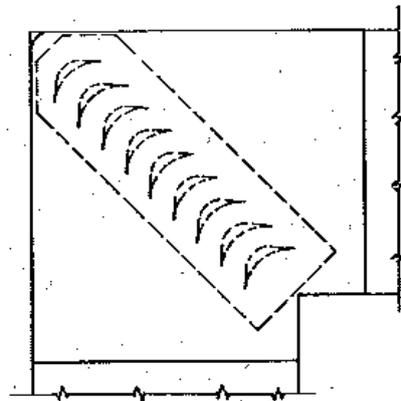


Figura 7.5 Codo recto sin guías

En los ductos que se construyen con tubo Spiro se recomienda la instalación de codos suaves. En la siguiente figura se presenta un codo suave de  $90^\circ$  con una relación  $R/D$  de 1.5. Esta relación es la normal en todos los codos que se realizan con tubo Spiro o en los ductos de sección circular.

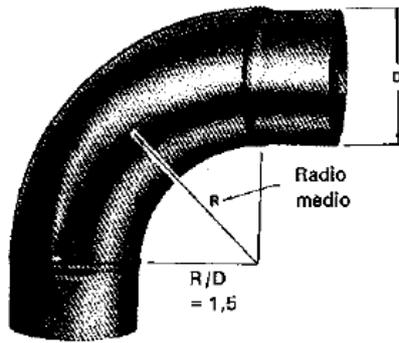


Figura 7.6 Codo liso de 90°

El codo de tres piezas tiene la misma relación  $R/D$  que el codo suave, pero su caída de presión es mayor y también mayor que la del codo de cinco piezas. Este tipo de codo es el que se recomienda cuando hay imposibilidad de colocar codos suaves.

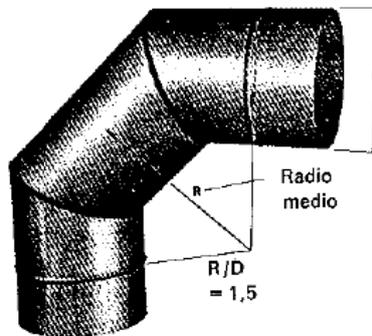


Figura 7.7 Codo de 90° de 3 piezas

El codo de 5 piezas es el más caro de los tres y se usa solamente cuando al colocar uno de tres piezas nos encontramos con una excesiva caída de presión y no podemos instalar un codo suave.

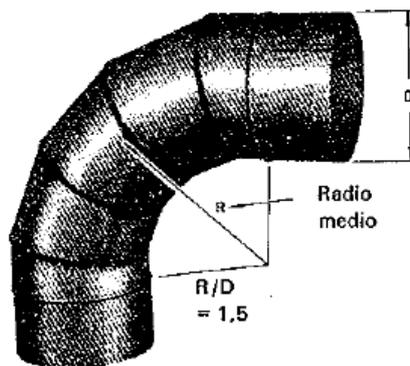


Figura 7.8 Codo de 90° de cinco piezas

### 7.3 DERIVACIONES

En los ductos rectangulares se pueden instalar varios tipos de derivaciones. A éstas se pueden aplicar las mismas consideraciones hechas para los codos. En la siguiente ilustración se presentan los tipos de derivación más comúnmente empleados:

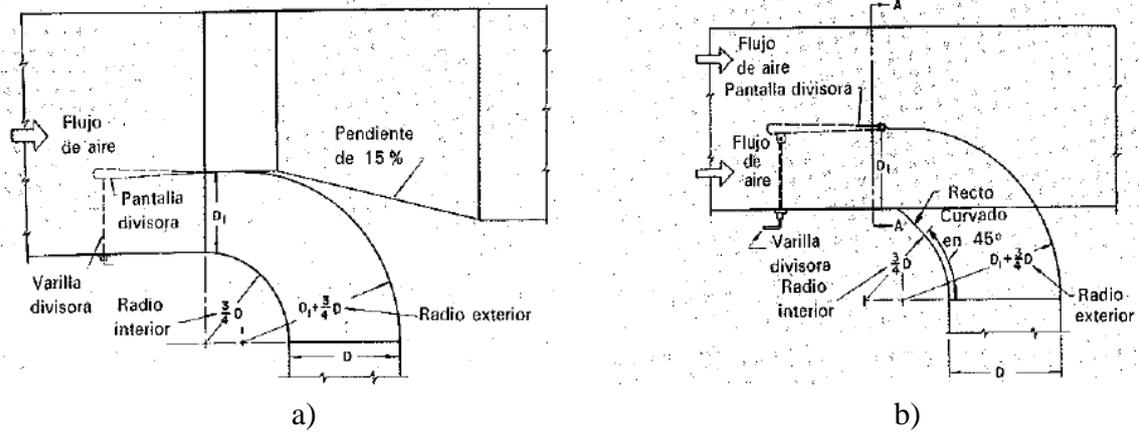


Figura 7.9 Derivaciones

La figura a) es una derivación que utiliza un codo ordinario. Tanto la figura a) como la figura b) los radios interior y exterior arrancan de distintos puntos, puesto que  $D$  es mayor que  $D_1$ . La principal diferencia entre la figura a) y la figura b) consiste en que en esta última la derivación parte de dentro del conducto y no hay ninguna reducción en el conducto principal.

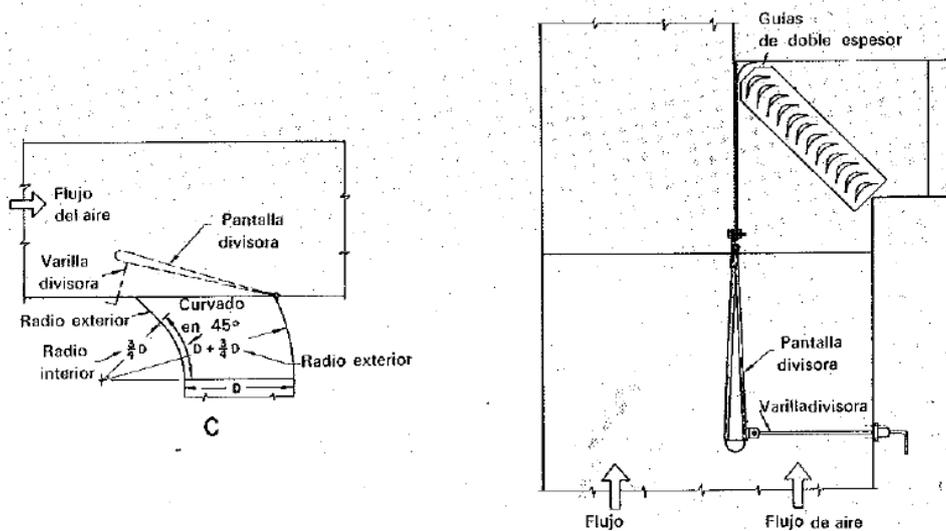


Figura 7.10 Tipos de derivaciones

Ahora bien, en la ilustración 7.10, el primer esquema presenta una derivación que no forma parte del ducto principal, esta derivación se utiliza cuando la cantidad de aire que se deriva es pequeña. La derivación en ángulo recto utilizando un codo rectangular, es la menos adecuada. Su empleo se limita a los casos en que no se puede instalar un codo ordinario.

#### 7.4 TIPOS DE MATERIALES DEL DUCTO

Los ductos de aire están hechos de una gran diversidad de materiales, tales como: lámina de metal, aluminio, fibra de vidrio flexible, ductos de madera, de cemento y hasta mosaicos. No obstante, cada tipo de material es utilizado para el fin que más convenga al usuario, la fibra de vidrio y el aluminio son libres de corrosión pero son más caros que la lámina de metal.

### 7.4.1 AISLAMIENTO TÉRMICO

Hay varios tipos de forros que utilizan los ductos de aire, los cuales sirven para evitar la transferencia de calor con el medio donde son instalados, además también sirven como aislamiento acústico. La clase y el grosor del forro dependen del tipo de ducto que es instalado y del lugar en donde será instalado.

Los siguientes puntos explican los diversos tipos de forros que están disponibles y sus usos:

### 7.4.2 FORRO FLEXIBLE DE FIBRA DE VIDRIO

Este tipo de forro es una cubierta flexible de fibra de vidrio reforzada con una cubierta de papel aluminio en la parte que queda expuesta al medio ambiente. La cubierta de aluminio sirve para aislar de una manera más eficiente el ducto de aire de las radiaciones de calor a las que está expuesto el ducto, mientras que la fibra de vidrio además de aislar el posible intercambio de calor, también sirve como aislamiento acústico.

Este forro es usado para sistemas de aire acondicionado residencial y comercial en ductos de lámina de metal y pueden operar a temperaturas de 4°C a 121°C. La ventaja de este tipo de forro es que se puede moldear de la manera que más convenga al instalador.

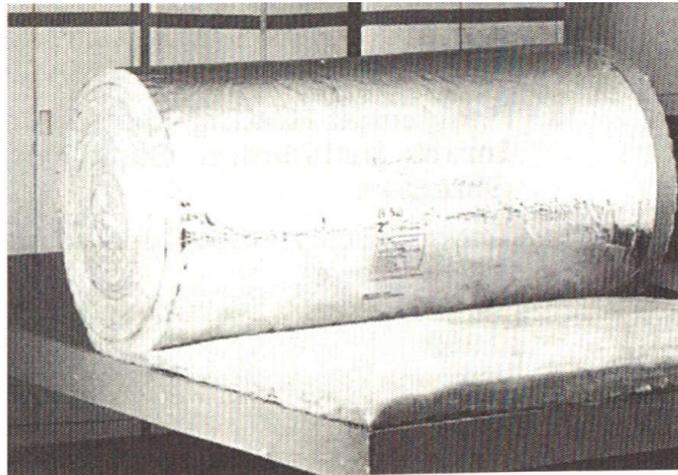


Figura 7.11 rollo de forro flexible de fibra de vidrio

### 7.4.3 FORRO RÍGIDO DE FIBRA DE VIDRIO

Este tipo de forro es utilizado para ductos de forma rectangular, al igual que el forro flexible, la estructura de fibra de vidrio viene reforzada con una capa de papel aluminio. Por su forma, es más fácil y rápido colocarlo en los ductos.

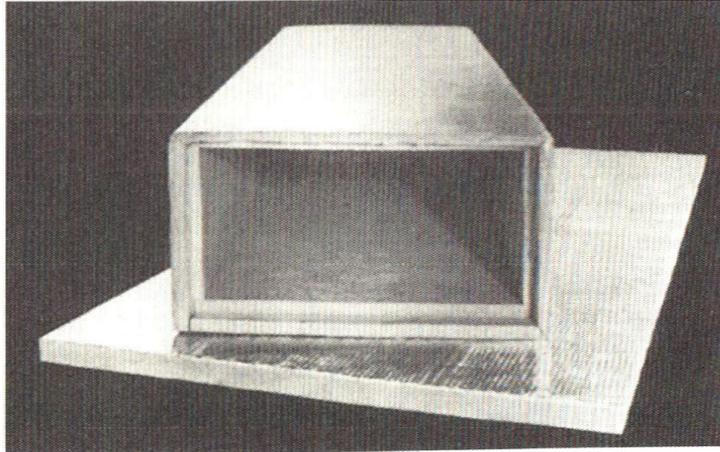


Figura 7.12 Forro rígido de fibra de vidrio

#### 7.4.4 ESPIRODUCTO DE FIBRA DE VIDRIO

Este es un ducto utilizado para las derivaciones que van desde los ramales principales de flujo de aire y hasta los difusores de aire. Son muy prácticos, ya que por su flexibilidad pueden colocarse muy fácilmente. Vienen hechos de una estructura de alambre en forma de espiral cubierta con plástico, una capa de fibra de vidrio y protegido con una barrera papel aluminio.

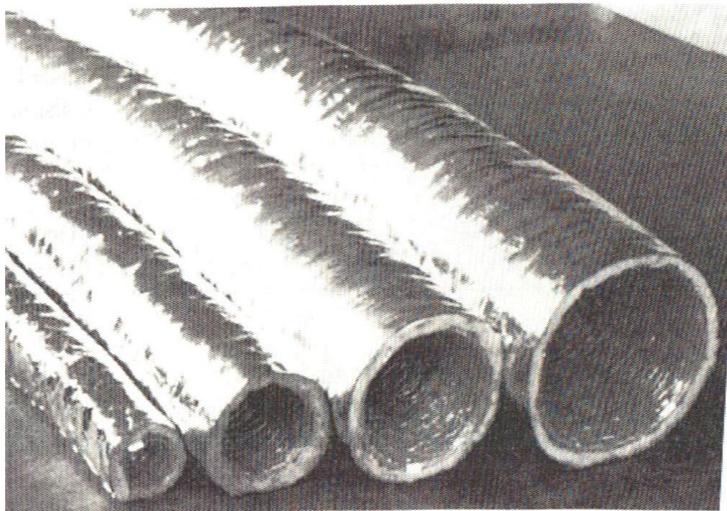


Figura 7.13 Espiroducto de fibra de vidrio

#### 7.5 DIFUSORES

La distribución del aire se puede clasificar en zonas: la zona que realmente puede ser ocupada por la gente y la zona que no puede ser ocupada por la gente, por ejemplo el espacio libre que queda cerca del techo. El aire debe entrar al recinto por el techo y amortiguar la velocidad y la temperatura antes de llegar a la zona ocupable.

El aire frío debe introducirse en el recinto por aberturas situadas cerca del techo, para contrarrestar las corrientes convectivas naturales. El aire entra en el espacio acondicionado por dispositivos que facilitan la mezcla del aire que llega con el aire local. Estos dispositivos de distribución de aire se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Difusores de techo: Se colocan en el techo y son de forma circular, realizados en conos concéntricos, que facilitan la mezcla del aire impulsado con el aire ambiente. Pueden construirse de forma circular, cuadrada o rectangular.



Figura 7.14 Difusor de techo de impulsión horizontal

- Difusores lineales: Se trata de una abertura o fisura, larga y estrecha, situada en el techo, la pared o el suelo, por la que sale el aire. Puede haber más de una fisura. La fisura es igual de larga que el techo donde va instalada.
- Paneles perforados: El techo está formado por paneles de yeso perforado, chapa, etc. El aire es distribuido por el falso techo mediante un conducto provisto de apertura, de manera que se obtenga una distribución uniforme. El aire pasará por los agujeros de los paneles perforados y llegará al recinto de se desea acondicionar.
- Rejillas: Se construyen con varias filas de lamas horizontales o verticales, de tipo fijo u orientable, de forma que canalizan y dirigen el aire de impulsión.

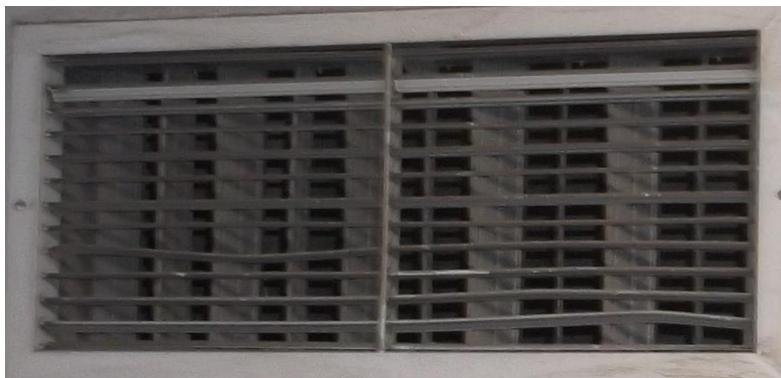


Figura 7.15 Rejilla con impulsión horizontal

### 7.5.1 CLASIFICACIÓN DE LOS DIFUSORES

- Grupo A: Difusores de techo o de pared cerca de techo, de difusión horizontal. Dentro de esta categoría se encuentra, A1: las rejillas colocadas en la pared cerca del techo y A2: Difusores de techo de difusión horizontal. En este tipo de difusores es importante controlar la caída, que no penetre en la zona ocupada.
- Grupo B: Son difusores de suelo o de pared cerca del suelo, con impulsión vertical, sin difusión, es decir, desprovistos de lamas de difusión. Este tipo de difusores suele emplearse en las instalaciones de fan and coils.
- Grupo C: Son difusores de suelo o de pared cerca del suelo, con impulsión vertical pero con difusión. La experiencia demuestra que estos difusores son más apropiados para aire caliente, es decir, para calefacción.
- Grupo D: Difusores montados en el suelo o en la pared cerca del suelo con impulsión horizontal. Es un sistema que se aplica más bien para aire caliente en calefacción.

En el sistema aquí descrito, se utilizan difusores lineales y difusores de techo tipo rectangular. Los difusores lineales son todos de la misma medida y fueron diseñados con el objetivo de ser colocados en el área común de los recintos; por otro lado los difusores de techo varían el tamaño del diámetro de la descarga, es decir, si el difusor fue colocado en un sitio en donde no hay una gran carga térmica que abatir, lo más común será encontrar un difusor con un diámetro de descarga relativamente más pequeño, como por ejemplo una oficina privada que es ocupada por una solo usuario con sus herramientas de trabajo, como son: una computadora, una impresora y las lámparas de alumbrado. Por otra parte, si el difusor es colocado en un espacio ocupado por un número mayor de usuarios, se encontrarán difusores más grandes, debido a que se tendrá que abatir una carga térmica mucho mayor.

### 7.6 TERMOSTATOS

El control más común en los sistemas de aire acondicionado es el termostato, un aparato que reacciona con los cambios de temperatura, arrancando o deteniendo el sistema cuando la atmosfera acondicionada alcanza el nivel correcto.

Cuatro son los principales tipos de termostato que se usan en los sistemas de aire acondicionado: los termostatos para calor, para frio, los combinados y, finalmente, los acoplados.

Los termostatos para calor están diseñados para arrancar el sistema cuando el ambiente se enfría, y detenerlo cuando el ambiente se calienta lo suficiente.

Los termostatos para enfriar abren y cierran sus circuitos de manera inversa a los de calentar, ya que arrancan cuando el ambiente se calienta, y se detienen cuando se enfría más allá de cierto límite.

Los de combinación son termostatos que tienen ambos mecanismos integrados, por lo que funcionan tanto para enfriar como para calentar.

Los termostatos acoplados responden no solo a la temperatura, sino también a otro control con el que están asociados. El más común es el acoplamiento con un reloj, gracias al cual los equipos regulan la temperatura de manera diferente durante el día que durante la noche, o bien,

dejan de operar en el fin de semana, ya que hay edificios que permanecen vacíos durante estos días y resultaría un desperdicio estar acondicionando el aire a los mismos niveles.

Otras veces el acoplamiento del termostato se hace con los dispositivos que reaccionan ante el flujo del aire, el flujo del agua o el flujo de vapor, con lo que a su vez se regula la operación de las compuertas.

### **7.6.1 SENSORES DE LOS TERMOSTATOS**

Los mecanismos a través de los cuales los termostatos registran la temperatura y reaccionan son diversos. Los más comunes son los dispositivos bimetálicos, los de diafragma, los hidráulicos y los eléctricos o electrónicos.

Los sensores bimetálicos pueden ser de varilla bimetálica o de varilla y tubo. Ambos se sustentan en que los metales se expanden de manera diferente ante los cambios de temperatura.

Los sensores de diafragma operan aprovechando que el gas se expande con el calor. Consisten en un fuelle que se dilata y encoge con los cambios de temperatura.

Los sistemas hidráulicos están hechos con un diafragma que en su interior tiene un líquido, en vez de un gas.

Los eléctricos operan con una resistencia eléctrica, bajo el principio de que el paso de la corriente varía con los cambios en la temperatura. Estos sensores eléctricos han dado lugar a los termostatos electrónicos que han revolucionado la capacidad de estos dispositivos, pues en un mismo aparato se combinan sensores de temperatura, apagadores, relojes y secuencias diversas.

Los sensores electrónicos tienen la virtud de ser totalmente programables, ya que se les puede indicar varias temperaturas, según la hora del día o el día de la semana que se trate, y se pueden cambiar y acoplar con muchos otros controles. Tienen una carátula digital y un respaldo de batería para no perder la memoria si se va la corriente y generalmente, operan con una corriente de bajo voltaje.

### **7.6.2 CORRIENTE DE OPERACIÓN DE LOS TERMOSTATOS**

Según la corriente con que operen se dividen en termostatos de alto voltaje y de bajo voltaje.

Los termostatos de alto voltaje operan directamente con la corriente de 120 o 240 V, con que funcionan los motores y otros mecanismos del sistema. Soportan una carga hasta de 24 amperes y algunos de ellos se pueden ajustar para operar con 3, 6, 8, 10, 14, o 20 amperes.

Los termostatos de bajo voltaje generalmente operan con una corriente de 24 volts, con una carga máxima de 3 a 5 amperes, estos circuitos de baja corriente van conectados a relevadores, que a su vez arrancan o detienen los dispositivos conectados a los circuitos de 120 a 240 volts.

Los termostatos de bajo voltaje son los más recomendables, pues no tienen problemas con la corriente de la línea con una tensión de 120 o 240 volts, no se calientan con ella ni se dañan con sus fluctuaciones, usan un cable delgado, del número 18, lo cual es una economía y permiten que los circuitos de corriente normal queden más conectados.

### **7.6.3 UBICACIÓN**

Es importante el lugar en que se coloquen los termostatos, ya que su sensor debe reaccionar ante la temperatura promedio de un cuarto. Generalmente se instalan a 1.5 m del suelo, sin muebles u obstáculos enfrente, fuera del alcance de los niños pequeños.

Se debe tener cuidado que no pasen ductos de agua caliente o fría por el interior de las paredes donde se instalen y tampoco conviene instalarlos donde, de manera directa o indirecta, estén afectados por los rayos del sol que penetren a la habitación.

El sitio donde se pongan los termostatos debe estar fuera de las corrientes de aire, alejado de los lugares donde se estanca el aire, como detrás de las puertas o en las esquinas.

En el sistema de acondicionamiento de aire de este trabajo, se utilizan termostatos digitales programados en su mayoría a un set point de 23°C. Cuando el lugar esté por encima de la temperatura programada en el termostato, se mandará una señal a la caja de volumen variable instalada en el ducto, para que comience a abrirse y circule el aire fresco hacia el espacio acondicionado. Por otro lado, cuando el termostato detecte que la temperatura en el medio ambiente es la misma que la programada como set point, mandará una señal a la caja de volumen variable y comience a cerrarse.

### **7.7 CAJAS DE VOLUMEN VARIABLE**

Las cajas de volumen variable son dispositivos que sirven para regular la cantidad de aire que es inyectada hacia el recinto acondicionado. Están conformadas por una compuerta instalada en el ducto de aire y tiene la capacidad de abrir o cerrar dependiendo de la señal que le mande el termostato. Si el termostato le ordena abrirse, la compuerta comenzará a abrirse con la ayuda de un pequeño motor eléctrico acoplado con un eje.

## CAPITULO VIII

### CONCLUSIONES

#### 8.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO

En los capítulos anteriores se describió detalladamente y se hizo una definición clara de todos los componentes que tiene un sistema de aire acondicionado, lo anterior para que se pueda comprender claramente.

Esta sección tendrá como propósito realizar un análisis del sistema de aire acondicionado, es decir, se hará una distinción de las partes del sistema hasta llegar a datos de importancia tales como: el análisis del flujo que maneja la máquina centrífuga de refrigeración, eficiencia y costos a corto y mediano plazo y ventajas y desventajas de tener un sistema de este tipo.

Respecto a la máquina centrífuga de refrigeración es un equipo que sirve para enfriar agua para procesos de confort humano; la información técnica es la que se detalla en las siguientes tablas:

#### CHILLER CENTRIFUGO YORK MODELO YDB4L2K1-CXCS

##### INFORMACION DE PLACA

CODIGO DE MOTOR	CX
VOLTAJE	4160
FASES	3
FRECUENCIA	60
LRA ( AMPERES A MOTOR BLOQUEADO)	562
CORRIENTE A PLENA CARGA	360

##### INFORMACION DEL SISTEMA

REFRIGERANTE	R 134 A
TONELADAS DE REFRIGERACION	2115
CODIGO DE ENGRANES	AE
POTENCIA DE ENTRADA	1082 KW

##### DISEÑO DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR

	EVAPORADOR	CONDENSADOR
PASOS	3	2
PRESION DE TRABAJO	150	150
FACTOR DE INCRUSTACION	0.00010	0.00025
CAIDA DE PRESION	50.7	21.2
ARREGLO DE BOQUILLAS DE ENTRADA	G	R
ARREGLO DE BOQUILLAS DE SALIDA	N	S
TEMPERATURA DE SALIDA	40.0	85.72

TEMPERATURA RETORNO	DE	49.6	74.4
CAUDAL (GPM)		5280	5100
TUBOS		326	266

### 8.1.1 FLUJO DE LA MAQUINA CENTRÍFUGA DE REFRIGERACION

De acuerdo a los datos de placa, la máquina centrífuga de refrigeración maneja un caudal máximo para el evaporador de 5280 GPM y 5100 GPM para el condensador.

#### 8.1.1.2 COMPORTAMIENTO DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS

Los siguientes gráficos proporcionados por el fabricante muestra el comportamiento de las bombas primarias y secundarias de agua helada del sistema y también el de las bombas de agua de condensación:

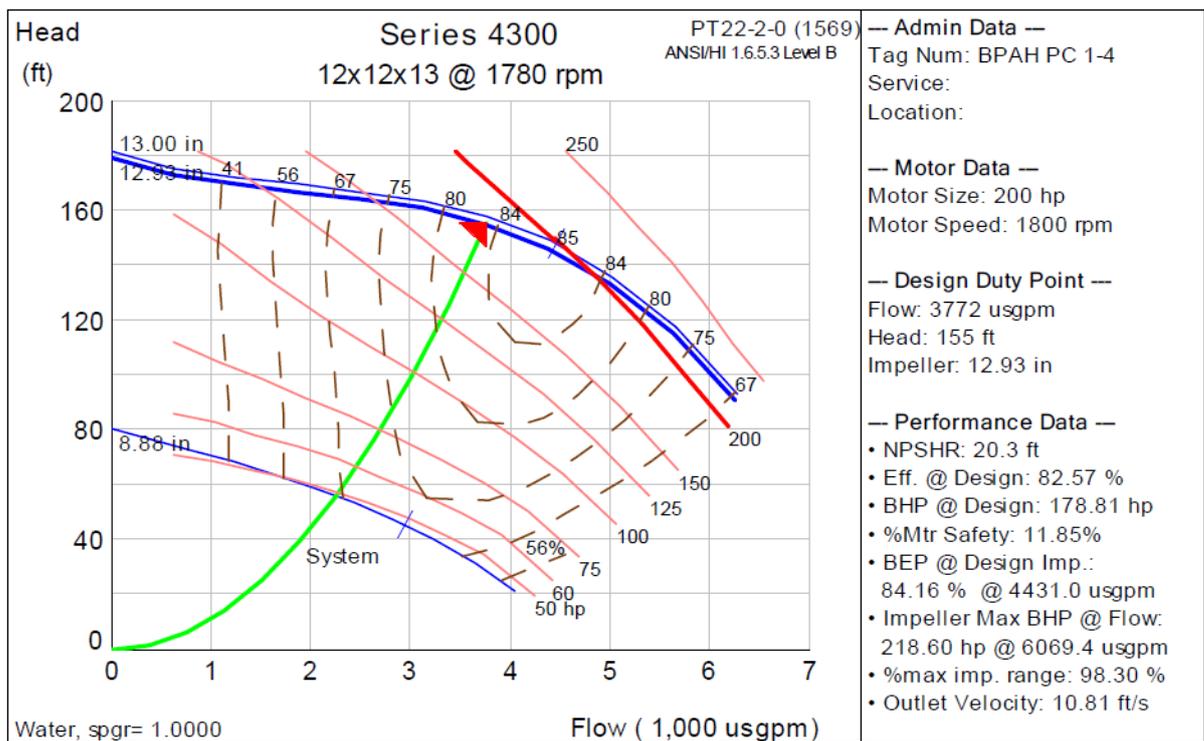


Figura 8.1 Comportamiento de las bombas de agua helada primarias (Extraído de Project No. 143246.1 rev.1 submittal, Armstrong)

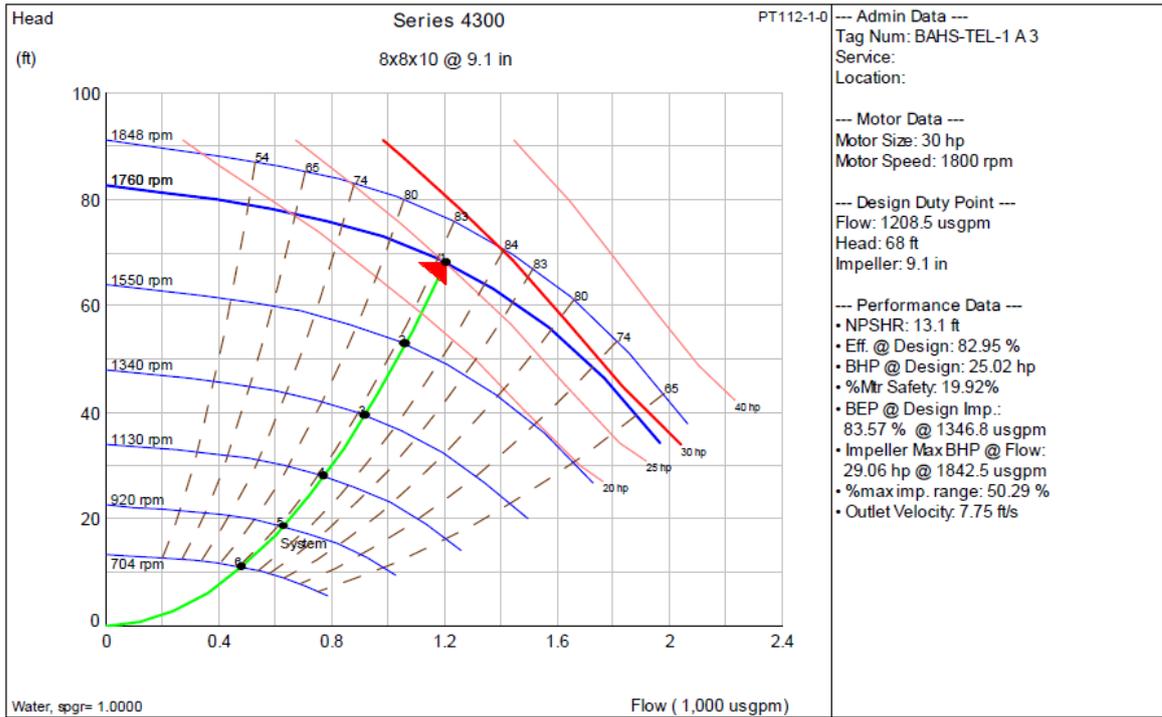


Figura 8.2 Comportamiento de las bombas de agua helada primarias (Extraído de Project No. 143246.1 rev.1 submittal, Armstrong)

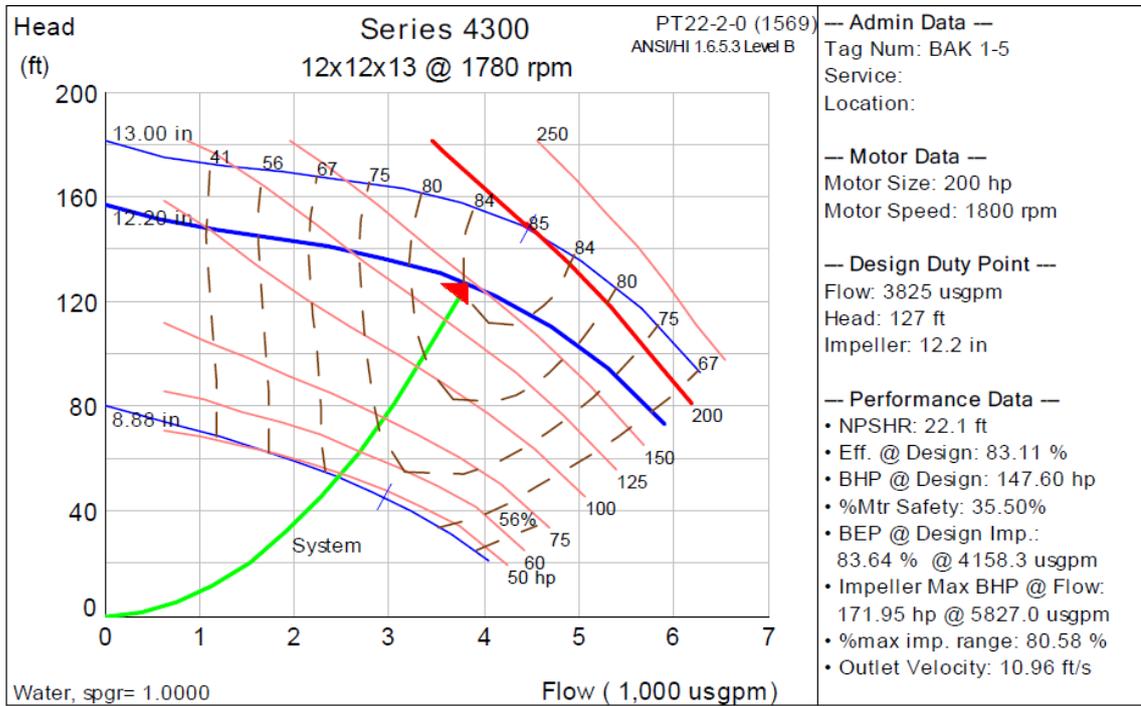


Figura 8.3 Comportamiento de la bomba centrífuga de agua condensada (Extraído de Project No. 143246.1 rev.1 submittal, Armstrong)

### 8.1.1.3 POTENCIA DE ACCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA

Con las tablas proporcionadas por el fabricante, podemos saber datos importantes de la bomba como son: potencia de la bomba, velocidad angular, caudal máximo, eficiencia, entre otros.

Teniendo como referencia estas tablas de comportamiento de las bombas, se pueden determinar analíticamente datos de utilidad como son la potencia de accionamiento. Este parámetro se puede determinar aplicando la fórmula:

$$P_a = \frac{Q\rho gH}{\eta}$$

Ecuación 8.1

Donde:

$P_a$  = Potencia de accionamiento de la bomba [watts]

$Q$  = Caudal de la bomba  $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

$\rho$  = Densidad de la sustancia operante  $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$g$  = Fuerza de gravedad  $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

$H$  = Altura útil [metros]

$\eta$  = Eficiencia total de la bomba [adimensional]

Para calcular la potencia de accionamiento de las bombas primarias de agua helada se plantearían los datos de la siguiente manera:

$P_a = \text{¿?}$

$Q = 3772$  [usgpm]

$\rho = 1000$   $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$g = 9.81$   $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

$H = 155$  [pies]

$\eta = 82.57\%$  [adimensional]

Ahora se tendrá que realizar la conversión de unidades al SI:

$$Q = 3772 \text{ usgpm} \left( \frac{3.7859 \text{ lt}}{1 \text{ usgal}} \right) \left( \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \right) = 237.95 \frac{\text{lt}}{\text{seg}} \rightarrow 0.237 \frac{m^3}{s}$$

$$H = 155 \text{ pies} \left( \frac{1 \text{ metro}}{3.2809 \text{ pies}} \right) = 47.24 \text{ metros}$$

Por lo tanto la ecuación quedaría de la siguiente forma:

$$P_a = \frac{Q\rho gH}{\eta}$$

$$P_a = \frac{\left(0.237 \frac{m^3}{s}\right) \left(1000 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) (47.24m)}{(0.82)}$$

$$P_a = 133940.95 \left(\frac{m^3}{s}\right) \left(\frac{kg}{m^3}\right) \left(\frac{m}{s^2}\right) (m)$$

$$P_a = 133940.95 \frac{(kg)(m^2)}{s^3}$$

$$P_a = 133940.95 \text{ watts}$$

$$P_a = 133.940 \text{ kw}$$

La potencia de accionamiento de una sola bomba primaria de agua helada sería de  $P_a = 133.940 \text{ kw}$  y teniendo en cuenta que el sistema de bombeo de agua primario esta constituido por tres bombas, entonces la potencia de accionamiento total del sistema de agua helada primario sería:

$$P_{a \text{ BPAH total}} = (133.940 \text{ kw})(3) = 401.82 \text{ kw}$$

Ahora para calcular la potencia de accionamiento de las bombas secundarias de agua helada se plantearían los datos de la siguiente manera:

$$P_a = ?$$

$$Q = 1208.5 \text{ [usgpm]}$$

$$\rho = 1000 \left[\frac{kg}{m^3}\right]$$

$$g = 9.81 \left[\frac{m}{s^2}\right]$$

$$H = 68 \text{ [pies]}$$

$$\eta = 82.95\% \text{ [adimensional]}$$

Ahora se tendrá que realizar la conversión de unidades al SI:

$$Q = 1208.5 \text{ usgpm} \left(\frac{3.7859 \text{ lt}}{1 \text{ usgal}}\right) \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}\right) = 76.25 \frac{\text{lt}}{\text{seg}} \cdot 0.076 \rightarrow \frac{m^3}{s}$$

$$H = 68 \text{ pies} \left(\frac{1 \text{ metro}}{3.2809 \text{ pies}}\right) = 20.72 \text{ metros}$$

Por lo tanto la ecuación quedaría de la siguiente forma:

$$P_a = \frac{Q \rho g H}{\eta}$$

$$P_a = \frac{\left(0.076 \frac{m^3}{s}\right) \left(1000 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) (20.72m)}{(0.82)}$$

$$P_a = 18839.028 \left(\frac{m^3}{s}\right) \left(\frac{kg}{m^3}\right) \left(\frac{m}{s^2}\right) (m)$$

$$P_a = 18839.028 \frac{(kg)(m^2)}{s^3}$$

$$P_a = 18839.028 \text{watts}$$

$$P_a = 18.839 \text{kW}$$

La potencia de accionamiento de una sola bomba secundaria de agua helada sería de  $P_a = 18.839 \text{kW}$  y teniendo en cuenta que el sistema de bombeo de agua secundario esta constituido por dos bombas útiles, entonces la potencia de accionamiento total del sistema de agua helada secundario sería:

$$P_{a \text{ BSAH total}} = (18.839 \text{kW})(2) = 37.678 \text{kW}$$

Para el sistema de agua de condensación, el análisis quedaría de la siguiente forma:

$$P_a = ?$$

$$Q = 3825 \text{ [usgpm]}$$

$$\rho = 1000 \left[\frac{kg}{m^3}\right]$$

$$g = 9.81 \left[\frac{m}{s^2}\right]$$

$$H = 127 \text{ [pies]}$$

$$\eta = 83.11\% \text{ [adimensional]}$$

Ahora se tendrá que realizar la conversión de unidades al SI:

$$Q = 3825 \text{usgpm} \left(\frac{3.7859 \text{lt}}{1 \text{usgal}}\right) \left(\frac{1 \text{min}}{60 \text{seg}}\right) = 241.35 \frac{\text{lt}}{\text{seg}} \rightarrow 0.241 \frac{m^3}{s}$$

$$H = 127 \text{ pies} \left(\frac{1 \text{ metro}}{3.2809 \text{ pies}}\right) = 38.70 \text{ metros}$$

Por lo tanto la ecuación quedaría de la siguiente forma:

$$P_a = \frac{Q \rho g H}{\eta}$$

$$P_a = \frac{\left(0.241 \frac{m^3}{s}\right) \left(1000 \frac{kg}{m^3}\right) \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) (38.70m)}{(0.83)}$$

$$P_a = 110234.85 \left( \frac{m^3}{s} \right) \left( \frac{kg}{m^3} \right) \left( \frac{m}{s^2} \right) (m)$$

$$P_a = 110234.85 \frac{(kg)(m^2)}{s^3}$$

$$P_a = 110234.85 \text{ watts}$$

$$P_a = 110.23 \text{ kw}$$

La potencia de accionamiento de una sola bomba de agua de condensación sería de  $P_a = 110.23 \text{ kw}$  y teniendo en cuenta que el sistema de bombeo de agua está constituido por cuatro bombas útiles, entonces la potencia de accionamiento total del sistema de agua de condensación sería:

$$P_{a \text{ BAK total}} = (110.23 \text{ kw})(4) = 440.92 \text{ kw}$$

### 8.1.2 EFICIENCIA, Y COSTOS A CORTO Y MEDIANO PLAZO

El componente que consume la mayor parte de la energía en una unidad enfriadora de agua es el compresor. En la siguiente tabla se hará una comparación de los principales tipos de compresores utilizados en máquinas de refrigeración y su índice de consumo promedio al 100% de su capacidad medido en Kw/T.R.:

TIPO DE COMPRESOR	MEDIO DE CONDENSACION	Kw/T.R.	Kw/T.R. PROMEDIO
Tornillo	Agua	0.65	0.575
Centrífugo	Agua	0.55	0.523
Centrífugo con variador	Agua	0.55	0.460

Tabla 8.1

TIPO DE COMPRESOR	MEDIO DE CONDENSACION	Kw/T.R.
Tornillo	Agua	0.65
Centrífugo	Agua	0.55
Centrífugo con variador	Agua	0.55

Tabla 8.2

Los datos de Kw/T.R. están dados a condiciones del American Refrigeration Institute; aunque el Kw/T.R. es una referencia inicial, no debe tomarse como algo absoluto, ya que este valor se toma al 100% de la capacidad del equipo, es decir, a las condiciones de diseño, las cuales son las condiciones más críticas y ocurren solo el 1% del tiempo total de operación del equipo durante un año. Por lo anterior es que resulta muy importante conocer el comportamiento del equipo operando a cargas parciales, es decir, a condiciones por debajo del 100% de su capacidad.

A diferencia de los datos anteriormente mencionados, que son de equipos nuevos, las eficiencias de equipos antiguos son menores. La mayor parte de los equipos enfriadores de agua existentes con 10 o 15 años de explotación son reciprocantes o centrífugos. En el caso de una unidad enfriadora tipo reciprocante enfriada por aire con 15 años de operación, su índice de consumo de energía es alrededor de 1.7 Kw/T.R. y el de un centrífugo enfriado por agua de la misma edad estará alrededor de 0.9 Kw/T.R. Lo anterior demuestra que un chiller tipo centrífugo puede disminuir considerablemente el consumo de energía eléctrica.

Cuando se requieren dos o más máquinas centrífugas para trabajar con una carga, pueden ser utilizadas con disposición en paralelo o en serie de las enfriadoras. Estas disposiciones se controlan de manera análoga a la de las máquinas simples o únicas.

### **1. Disposición en serie:**

Cuando se consideran máquinas múltiples, puede ser ventajoso el flujo de agua a través de enfriadoras en serie. Generalmente, cuanto más largo sea el sistema de distribución de tuberías, mayor es el aumento de la temperatura del agua enfriada. Por ejemplo para enfriadores de agua con serpentines estrechamente acoplados, tienen un aumento de temperatura económicamente óptimo 4.4 - 4.5 °C, mientras los sistemas de distribución de agua enfriada a serpentines muy separados deben tener normalmente un aumento óptimo económicamente de unos 8.3 - 11.1°C.

Para aumento de temperaturas más elevados, el flujo en serie de agua a través de los enfriadores puede reportar una economía de funcionamiento. La primera máquina puede funcionar a una temperatura de aspiración porque requerirá menos potencia.

Cuando las enfriadoras están conectadas el mejor consumo de potencia se obtiene con una igual reducción de la carga de cada máquina. El margen de estrangulación de la máquina de etapa alta debe ser ajustado para conseguir que cada máquina trabaje con el mismo porcentaje de la carga del sistema, tanto en condiciones de proyecto como en la carga parcial.

### **2. Disposición en paralelo:**

Cuando se instalan dos o más máquinas con las enfriadoras conectadas en paralelo en el circuito de agua enfriada, cada máquina debe controlar la temperatura de su salida de agua enfriada para que se mantenga igual a la establecida por el proyecto, lo mismo que en una instalación de máquina simple.

Para cada máquina se utilizará el mismo margen de estrangulación, cuando se reduce la carga del sistema, ambas máquinas reducen simultáneamente su capacidad, produciéndose así individualmente la misma temperatura de salida de agua enfriada.

Cuando cada evaporador está provisto de una bomba de agua enfriada independiente se puede parar la bomba y el chiller durante el funcionamiento con carga parcial; esto significa que el sistema debe poder funcionar con flujo reducido de agua enfriada y que los motores de la bomba deben ser elegidos de modo que no se sobrecarguen cuando una de las bombas está parada.

En las disposiciones serie paralelo de las máquinas centrífugas herméticas, reduciendo la carga hasta el 35% aproximadamente, la potencia total necesaria para que funcionen simultáneamente ambas máquinas es menor para que funcione una sola con reducción de carga.

### 8.1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN SISTEMA DE RECIRCULACION DE AGUA

Las ventajas de una planta de agua helada con bombeo primario, secundario y flujo variable es la conveniencia de poder separar las acciones para disminuir los gastos energéticos y analizar el bombeo primario y secundario por separado.

#### 1. Bombeo primario

Dependiendo de la magnitud del sistema, el consumo de las bombas del sistema primario puede ser significativo y la utilización de variadores de velocidad permite disminuir considerablemente los valores de consumo. Al regularse el flujo y mantener el necesario en el sistema primario para satisfacer la demanda del secundario, se varía la velocidad de las bombas en vez de variar presiones ajustando válvulas, lo que se traduce en un ahorro importante de energía.

Normalmente las bombas se calculan para una potencia que está entre un 15% y un 25% por encima de la necesaria para prevenir cambios en las instalaciones. Sin variadores de velocidad esta potencia se pierde en la válvula de mariposa, con la utilización de estos se disminuye la velocidad de la bomba y se ahorra esa potencia.

La relación entre la velocidad y la potencia consumida es cúbica, razón por la cual cuando ajustamos el sistema disminuyendo el caudal con variadores de velocidad, también se logra un considerable ahorro de energía. Adicionalmente se consiguen ahorros porque no son necesarias válvulas mariposa, arrancadores suaves, bancos de condensadores para elevar el factor de potencia y protecciones adicionales porque el variador de velocidad asume estas funciones.

El cálculo del tiempo de recuperación de la inversión para lo antes descrito, es de 0 a 0.5 años se puede hacer con el siguiente modelo matemático:

$$\frac{[\text{Costos del variador} + \text{Costo de los flujómetros} - \text{costos de: (válvulas de mariposa} + \text{arrancador suave} + \text{cableado} + \text{regulador del factor de potencia)} - \text{ahorro en montajes}]}{[\text{Energía ahorrada} + \text{costo de mantenimiento anual}]}$$

Ecuación 8.2

#### 2. Bombeo secundario

En los sistemas con flujo variable, las bombas del sistema secundario son las encargadas de distribuir a la carga el agua producida por el sistema primario, acorde a las necesidades del flujo variable del sistema. Debido a que el flujo es variable en el secundario, puede mantenerse la mínima presión necesaria para reducir el ruido en el sistema y mejorar la eficiencia.

Al instalar variadores de velocidad en las bombas, se consigue un ahorro considerable tanto en las bombas como en las enfriadoras o Chillers, al bombearse solamente la cantidad de agua necesaria para cubrir la carga térmica instantánea. La sobre presurización de las válvulas de dos vías se elimina y por ende disminuyen las roturas y con ellas los gastos de mantenimiento. Con este cambio se satisfacen las verdaderas necesidades del sistema, lo que permite entregar solo la energía estrictamente necesaria para satisfacer la demanda.

Cuando se alcanzan en los recintos la temperatura deseada, el control de los termistores cierra las válvulas, se aumenta la presión en el sistema, los presostatos diferenciales envían la señal a

los variadores de velocidad que disminuyen la velocidad de las bombas para mantener el diferencial de presión fijado. Al reducirse la velocidad en las bombas, estas trabajan más desahogadamente aumentando la vida útil y reduciendo los gastos de mantenimiento.

## **8.2 CONCLUSIONES PERSONALES**

Respecto a este análisis que se ha hecho de un sistema de recirculación de líquidos se puede llegar a las siguientes conclusiones:

1. Los sistemas de aire acondicionado centralizados de confort humano, según el esquema de conexión de las unidades enfriadoras de agua pueden clasificarse en serie o en paralelo.
2. En la antigüedad los sistemas de aire acondicionado funcionaban con volumen de agua constante controlados con válvulas de tres vías, mismos que ya se han vuelto obsoletos por el alto consumo de energía eléctrica que implica su operación. Además de que los gastos de mantenimiento aumentan, por el trabajo constante y excesivo de los componentes móviles.
3. Los sistemas de aire acondicionado centralizados de confort humano con bombeo primario-secundario con flujo variable y válvulas de dos vías se imponen ante los sistemas de bombeo de agua constante a pesar de que la inversión inicial es mucho más elevada, pues disminuyen notablemente los gastos de mantenimiento y consumo de energía, obteniendo periodos de recuperación de la inversión a un año.
4. El uso de los variadores de velocidad en una planta de agua helada, es la mejor alternativa para el diseño de un sistema de aire acondicionado altamente eficiente.
5. La instalación de un sistema de aire acondicionado centralizado en una planta de agua helada, es una gran ventaja por la gran cantidad de sensores de presión, temperatura, voltaje, corriente; lo que lo hace muy útil en cuanto a la detección de problemas cuando se lleguen a presentar en el sistema.
6. La instalación de un sistema de ahorro de energía es de gran utilidad, este sistema evita el consumo innecesario de energía eléctrica, además de que con ello se reducen los gastos de mantenimiento al funcionar solo lo necesario los componentes del sistema.

## BIBLIOGRAFIA

1. Aire Acondicionado, Carnicer Enrique.
2. Air Handling Units, Form 102.20-n1 (1108), York.
3. Bombas Verticales en Línea de las Series 4300, 4360 y 4380, Armstrong archivo No. 43.80s, 16 de Febrero 2006.
4. Controlador de Planta Integrado IPC 11550 Armstrong archivo No. 90.805sp, 18 de Marzo 2010.
5. Climatización de Locales, Guinand Yves, Barcelona 1977
6. Control Center Centrifugal Liquid Chillers, Form 160.69.01 (208), York.
7. Fundamentals of Air Conditioning Systems, Langley Billy, The Fairmont Press Inc.
8. Fundamentos de Aire Acondicionado y Refrigeración, Hernández Goribar Eduardo, Editorial Limusa
9. Forma sls-710a (REV 1/07), Lakos
10. Handbook of Air Conditioning System Design, Carrier Air Conditioning, Marcombo.
11. HVAC Análisis y Diseño, Mc Quiston Parker, Spitler, Limusa.
12. Instalaciones Frigoríficas, Rapin/Jacquard, Marcombo.
13. Intercambiador de Calor de Placa y Marco, Armstrong, archivo 113.80sp, 1 de Febrero de 2010.
14. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado II, Lesur Luis, Editorial Trillas.
15. Manual Técnico Valycontrol, Valycontrol S.A. de C.V.
16. Mechanical Engineering Handbook, Frank Kreith, CRC Press LLC, 1999.
17. Sistemas de Bombas Integradas, Controladores de Velocidad Variable, Controlador IPS 5000, archivo No. 9081sp, 1 de Febrero de 2010.
18. Técnicas de Climatización, Miranda Ángel, Alfaomega Marcombo.
19. Termodinámica, Moring Faires Virgil.
20. Unit Centrifugal Liquid Chillers, Form 160.69.02 (108), York.

## **BIBLIOGRAFIA DEL CIBERESPACIO**

1. [www.repsol.com](http://www.repsol.com)
2. [www.bibliociencias.cu](http://www.bibliociencias.cu)
3. [es.wikipedia.org/wiki/Acondicionamiento\\_de\\_aire](http://es.wikipedia.org/wiki/Acondicionamiento_de_aire)
4. [www.arquigrafico.com/los-chillers-sistemas-de-enfriamiento-ideal-para-grandes-espacios](http://www.arquigrafico.com/los-chillers-sistemas-de-enfriamiento-ideal-para-grandes-espacios)
5. [www.lakos.com](http://www.lakos.com)