#### CAPÍTULO 4

1. DESCRIPCIÓN DE OPERACIÓN AUTOMÁTICA E INSTALACIÓN DE EQUIPOS DE CONTROL EN EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO

Para describir la operación automática y la instalación de los equipos de control en el sistema de acondicionamiento de aire primeramente se describirán las características del equipo a controlar, ubicación de dichos equipos, la descripción y ubicación de dispositivos de control para luego terminar con la teoría y secuencia de operación.

El sistema central de acondicionamiento de aire se divide en dos grandes grupos según el medio de transporte de calor: Agua y Aire. En el grupo de agua se encuentran: chillers (enfriadores), bombas de agua helada, bombas de agua de enfriamiento, ventiladores de torre de enfriamiento; mientras que en el grupo de aire se encuentran: Ventiladores-Serpentín (Fan-Coil), unidades manejadoras de aire de volumen constante con y sin recalentador, unidades manejadoras de aire de volumen variable, cajas de volumen de aire variable y ventiladores de suministro y extracción.

* 1. Agua

El sistema de agua se compone de dos grupos: agua de enfriamiento y agua helada; dos enfriadores conectados en serie utilizan dos torres de enfriamiento, una para cada uno y tres bombas para la circulación de agua de enfriamiento que conecta los dos dispositivos nombrados anteriormente; cada bomba de agua de enfriamiento trabaja para un chiller y la tercera bomba de agua de enfriamiento queda en stand by y puede abastecer cualquiera de los dos chillers. Para la circulación de agua helada se utilizan dos bombas conectadas en paralelo las mismas que llevan el agua hacia los chillers y de éstos hacia las unidades manejadoras de aire y unidades ventilador - serpentín.



FIGURA 4.1 ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE SISTEMA DE AGUA HELADA Y DE ENFRIAMIENTO

El esquema de la instalación del sistema de agua helada y agua de enfriamiento se indica en la figura 4.1., sus componentes se describen a continuación:

* + 1. Chillers

La Unidad Ginecológica del Hospital Universitario tiene dos unidades enfriadoras de agua (chillers) de compresores de tornillo, enfriadas por agua, conectadas en serie, cada una con una capacidad de 185 TR a plena carga capaces de enfriar como mínimo 675 GPM de agua en el evaporador desde 50.580F a 440F cuando el flujo de agua de enfriamiento requerido por el equipo entra al condensador a una temperatura de 850F y sale a 950F, el refrigerante que se utiliza en cada enfriador es R-134ª. Los enfriadores se encuentran a 100 metros de la Unidad Ginecológica, en la sala de máquinas.

Existen dos sistemas de control independientes en los enfriadores: el sistema de control central y el sistema de control de cada enfriador.

Sistema de control central

El sistema de control central tiene la capacidad de prender y apagar los enfriadores, realiza lecturas del flujo de agua helada y las temperaturas de retorno y suministro de agua helada y agua de enfriamiento, su ubicación se observa en la figura 4.1.

Cada enfriador tiene la capacidad de acondicionar el 66% de la demanda total de la Unidad Ginecológica; ya sea uno o ambos enfriadores según sea la demanda de carga de enfriamiento serán prendidos para abastecer dicha carga.

La secuencia de encendido de cualquiera de los enfriadores es el siguiente: primeramente debe haber circulación de agua tanto del lado del evaporador como del condensador debido a que el enfriador no puede arrancar sin que exista intercambio de calor, el propio sistema de control del enfriador tiene sensores de flujo (flow-switch) los mismos que permiten el encendido del enfriador siempre y cuando éstos estén cerrados, así también se manda a prender las torres de enfriamiento las mismas que arrancarán bajo algunos parámetros que se explicarán en el capítulo 4.1.4.

Como toda edificación hospitalaria permanece en funcionamiento las 24 horas, un enfriador permanecerá siempre prendido por un mes, para luego turnarse. El segundo enfriador será prendido por dos condiciones: temperatura de retorno y/o diferencial de temperatura entre suministro y retorno de agua helada. Cuando la temperatura de retorno sobrepase los 560F o cuando el diferencial de temperatura sea mayor a 10 grados fahrenheit se mandará la orden de prendido del segundo enfriador, por otra parte cuando la temperatura de retorno de agua helada sea menor a los 460F se mandará la orden a que el segundo enfriador trabaje por 20 minutos más para luego ser apagado, este tiempo adicional de trabajo se ordena para evitar el ciclaje del equipo. Si existe algún inconveniente con el enfriador principal que lo inhabilite se activa una alarma que manda una orden de prendido al segundo enfriador dándole la jerarquía de principal.

El caudal de agua helada medida en galones por minuto nos indica el estado del sistema y es esencial para la calibración y puesta en marcha del mismo. Las temperaturas de suministro y retorno de agua de enfriamiento nos indica la capacidad de enfriamiento de las torres según las cuales los enfriadores estarán en capacidad de abastecer la demanda de enfriamiento de la unidad ginecológica.

Sistema de control del enfriador

Gran parte del ahorro energético de la unidad ginecológica radica en el control del consumo eléctrico del enfriador ya que éste es el “condensador” de todo el sistema de acondicionamiento de aire, equipo que demanda cerca del 50% de la carga eléctrica total.

El enfriador tiene gas refrigerante R134a el mismo que absorbe el calor del agua helada de retorno luego de lo cual el agua helada está en capacidad de enfriar las unidades manejadoras de aire y las unidades ventilador serpentín (fan-coil). El vapor refrigerante “caliente” luego pasa por el compresor donde la acción de rotación del tornillo aumenta la presión y temperatura para ser descargado en un separador de aceite el mismo que remueve el aceite del refrigerante para que luego este entre al condensador. Dentro del condensador fluye agua que absorbe el calor del vapor del refrigerante provocando su condensación; el refrigerante drena por la tubería de líquido donde un orificio variable provoca una caída de presión, bajando la temperatura del refrigerante para luego entrar al evaporador cerrando el circuito de enfriamiento, la figura 4.2 ilustra dicho funcionamiento.

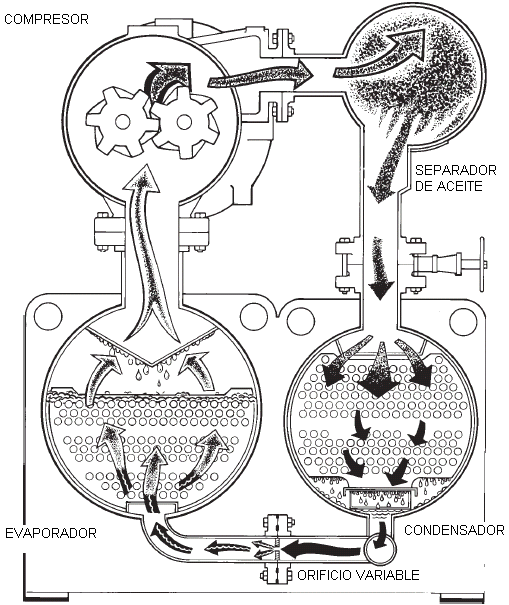


FIGURA 4.2 VISTA DE CORTE DE ENFRIADOR

Todos los componentes del enfriador están diseñados para la máxima capacidad de enfriamiento; sin embargo, este caso se da en muy pocas ocasiones por lo que el enfriador incluye en su sistema de control un control de capacidad.

La capacidad de enfriamiento debe ser controlada para mantener la temperatura de suministro de agua helada constante. Una válvula de deslizamiento localizada en el compresor de tornillo compensa varias condiciones de carga, ésta válvula es controlada por un controlador central en el enfriador el mismo que envía señales a una válvula solenoide que carga y descarga la válvula deslizante con el uso de aceite del compresor con presión hidráulica. La válvula deslizante se compone de un cilindro localizado en la entrada del compresor el mismo que tiene en su interior un resorte cargado, un eje y un pistón; el cilindro tiene en sus puertos aceite de compresor presurizado. El flujo de aceite es controlado por la válvula solenoide que modula para cargar y descargar la válvula deslizante para incrementar o disminuir respectivamente la cantidad de flujo de refrigerante al compresor, controlando así la capacidad del enfriador.

El sistema de control del enfriador monitorea la operación, permite especificar los setpoints, la programación de prendido y apagado según el día, muestra el estatus de operación, temperaturas, presiones y permite el funcionamiento totalmente automático de la unidad tomando acciones para prevenir daños del equipo cuando se presentan condiciones anormales de operación tales como:

* Baja presión y temperatura de refrigerante
* Alta presión de condensación
* Alta temperatura de descarga del compresor
* Bajo flujo de aceite
* Sobrecargas de amperaje del motor
* Pérdidas de comunicación entre los diversos módulos de control interno del equipo
* Fallas en la transición del arrancador
* Pérdidas momentáneas del flujo eléctrico
* Pérdidas de fase
* Desbalance de fases
* Inversión de fases
* Alto y bajo voltaje
* Pérdidas del flujo de agua en el evaporador y condensador

Así también tiene dos contadores:

* Contador de número de arranques
* Contador de horas de funcionamiento
* El sistema de control independiente permite al operador el monitoreo constante de todas las presiones y temperaturas del ciclo de refrigeración.
  + 1. Bombas de Agua Helada

El sistema de agua helada dispone de dos bombas (una para stand by) que tienen una capacidad de 675 GPM a una presión de 373.3 KPa (125 pies c.a.), son de tipo centrífugo de una etapa ubicadas en la sala de máquinas.

Las bombas succionan agua de retorno proveniente de las unidades manejadoras de aire y unidades ventilador serpentín (fan-coil) para descargar hacia los enfriadores (los mismos que se encargan de absorber el calor) para luego volver a enfriar el sistema, figura 4.1.

Las bombas de agua helada tienen dos controles: uno de encendido y apagado y otro de medición de consumo eléctrico, ambas ubicadas en el panel eléctrico.

Una de las dos bombas estará en funcionamiento a tiempo completo durante un mes mientras la otra permanece en stand by para luego turnarse. Cuando se de la orden de encendido del enfriador, la bomba entrará en funcionamiento entre 30 a 120 segundos antes para que haya circulación de agua por el enfriador antes que el motor del compresor sea encendido. Cuando la bomba es energizada un transductor de energía conectado a la fuente de poder lee la cantidad de voltaje y amperaje que demande el equipo para calcular la cantidad de energía en KiloWatts consumida por la bomba y manda esa información al sistema de control central para su monitoreo, con esto se puede verificar el correcto funcionamiento de la bomba.

* + 1. Agua de Enfriamiento

El sistema de agua de enfriamiento dispone de tres bombas (una para cada enfriador y una para stand by) que tienen una capacidad de 529GPM a una presión de 179.2 KPa (60 pies c.a.), de tipo centrífugo ubicadas en la sala de máquinas.

Las bombas succionan agua fría proveniente de las torres de enfriamiento para descargar en los condensadores de los enfriadores para luego volver a las torres de enfriamiento, figura 4.1.

Las bombas de enfriamiento disponen de monitoreo de consumo eléctrico y control de encendido y apagado, ambas ubicadas en el panel eléctrico.

Dos de las tres bombas estarán en funcionamiento dependiendo de la orden de prendido y apagado que reciba cada enfriador mientras la tercera permanece en stand by. Cuando se de la orden de encendido del enfriador, la bomba entrará en funcionamiento entre 30 a 120 segundos antes para que haya circulación de agua por el enfriador antes que el motor del compresor sea encendido.

Cuando la bomba sea energizada un transductor de energía lee la cantidad de voltaje y amperaje consumidos por el equipo y manda la cantidad de energía al sistema de control central para su monitoreo, con esto se puede verificar el correcto funcionamiento de las bombas.

* + 1. Ventiladores de Torre de Enfriamiento

El sistema de enfriamiento tiene dos torres de enfriamiento de tiro inducido, una para cada enfriador como se ilustra en la figura 4.1, tiene la capacidad de enfriar 675 galones por minuto desde la temperatura de salida del condensador hasta 850F cuando la temperatura de bulbo húmedo del aire exterior sea de 800F, las torres de enfriamiento se encuentran a lado de la sala de máquinas.

Las torres de enfriamiento tienen sensores de temperatura a la entrada y salida de agua (figura 4.1), control de encendido y apagado y monitoreo de consumo eléctrico.

Cada torre de enfriamiento recibirá la orden de encendido según se ordene el encendido de los enfriadores a los que corresponden sin que necesariamente tengan que prender los motores, esto debido a que las torres van a operar cuando la temperatura de salida del condensador sea mayor a 900F, por otra parte cuando la temperatura del agua a la salida del condensador del enfriador sea menor a 850F se mandará la orden que siga operando el ventilador de la torre por 20 minutos más y luego sea apagado, este tiempo adicional es para evitar el ciclaje del equipo, la temperatura de entrada al condensador nos indica la capacidad de enfriamiento de la torre de enfriamiento en tiempo real. Cuando el ventilador sea energizado un transductor de energía lee el voltaje y amperaje de la fuente de poder para calcular la cantidad de energía consumida y manda la información al sistema de control central para su monitoreo y verificar su correcto funcionamiento.

* 1. Aire

El segundo sistema, el de aire consta de dos grupos: acondicionamiento de aire y ventilación, sus diferentes componentes se describen a continuación:

* + 1. Fan Coil

La Unidad Ginecológica cuenta con cuatro unidades ventilador-serpentín (fan-coil) de tipo horizontal de tumbado enfriadas por agua, disponen de los siguientes controles como se observa en la figura 4.3.

FIGURA 4.3 ESQUEMA DE CONTROL DE UNIDAD VENTILADOR SERPENTÍN (FAN COIL)



* Termostato
* Válvula de tres vías para flujo de agua

Cada unidad ventilador serpentín será encendido y apagado según el horario definido en el sistema de control central, el termostato conectado al fan-coil sensa la temperatura y manda la señal para abrir o cerrar la válvula de 3 vías la misma que controla el flujo de agua helada hacia el equipo para controlar la capacidad de enfriamiento según se requiera, así mismo el termostato controla la velocidad del ventilador con fines de confort dentro del área climatizado.

* + 1. Manejadoras de Aire de Volumen Constante

Las unidades manejadoras de aire de volumen constante disponen de ventiladores que –según el horario establecido en el sistema central- se encuentran encendidas continuamente proveyendo un flujo de aire constante en el espacio acondicionado; si la unidad manejadora va a acondicionar varias áreas, éstas deben tener características de carga similares para lo cual la ubicación del sensor de temperatura de zona es esencial para un buen control. Estos equipos son los más utilizados en el hospital universitario ya que cada espacio requiere el acondicionamiento de una máquina independiente para evitar la “contaminación” de otras áreas.

* + - 1. Sin Recalentador

Todas las unidades manejadoras de aire de volumen constante sin recalentador tienen el dispositivo face and bypass el mismo que se utiliza para permitir el paso de una parte del aire de retorno hacia el ducto de suministro sin que pase por el evaporador, con esto se regula la capacidad de enfriamiento que requiere el espacio a acondicionar según sea la demanda actual y principalmente se ahorra energía pues el agua que circula por el evaporador regresa más fría.

En instalaciones pequeñas se suele utilizar únicamente este dispositivo para realizar el control de capacidad, en la unidad ginecológica –por ser un sistema grande- además de éste se adiciona el control de flujo de agua helada que circula por el evaporador por medio de la válvula de tres vías.

Estas unidades se encuentran en áreas comunes donde no se necesita control de humedad y se pueden compartir los retornos sin riesgo a contaminar, la ubicación de los controles en cada unidad manejadora se indica en la figura 4.4

FIGURA 4.4 ESQUEMA DE CONTROL DE UNIDAD MANEJADORA DE AIRE DE VOLUMEN CONSTANTE SIN RECALENTADOR



* Sensor de temperatura de zona
* Sensor de temperatura de suministro
* Sensor de temperatura de retorno
* Sensor de temperatura de mezcla
* Switch diferencial de presión de flujo
* Switch diferencial de presión de filtro
* Damper face and bypass
* Damper de retorno
* Damper de aire exterior
* Válvula de tres vías

Las unidades manejadoras de aire serán encendidas y apagadas por el sistema central según el horario establecido en cada área, la diferencia de temperatura entre la temperatura de zona y la establecida (setpoint) producirá el movimiento del damper face and bypass en primera instancia, y de ser necesario la intervención de la válvula de tres vías. Las temperaturas de suministro, retorno y mezcla sirven para la calibración y monitoreo del sistema. El switch diferencial de presión de flujo indica si el estado de la unidad es prendido o apagado según exista flujo de aire lo cual presuriza el ducto, en cambio el switch diferencial de presión de filtro sensa una caída de presión para determinar si el filtro debe ser reemplazado o no. El damper de aire exterior permanece con una abertura del 20% para permitir la entrada de aire exterior con el fin de evitar altos niveles de CO2.

* + - 1. Con Recalentador

Las unidades manejadoras de aire de volumen constante con recalentador son usadas en sistemas de acondicionamiento de aire cuando el control de humedad es muy importante como es el caso de quirófanos. Por ser un sistema de volumen constante éste es satisfactorio en espacios singulares o múltiples con características de carga similares.

Estos sistemas disponen de un evaporador donde circula agua helada la misma que enfría y deshumidifica el aire a la vez que cuentan con recalentadores para controlar la temperatura. Es necesario un sensor de temperatura y humedad de zona para ajustar la temperatura del aire requerida para crear una condensación y así el suministro de aire sea lo suficientemente seco para mantener los niveles propicios de humedad en el espacio. En ocasiones las temperaturas están por debajo de lo requerido por lo cual se necesitan recalentadores que aumenten la temperatura sin que esto afecte a la cantidad de humedad del aire.

Los dispositivos de control necesarios para este tipo de unidades manejadoras se observan en la figura 4.5

FIGURA 4.5 ESQUEMA DE CONTROL DE UNIDAD MANEJADORA DE AIRE DE VOLUMEN CONSTANTE CON RECALENTADOR



* Sensor de temperatura de zona y humedad
* Sensor de temperatura de suministro
* Sensor de temperatura de mezcla
* Sensor de temperatura de retorno
* Sensor de humedad de retorno
* Switch diferencial de presión de flujo
* Switch diferencial de presión de filtro
* Damper de retorno
* Damper de aire exterior
* Válvula de tres vías
* Calentador de cuatro etapas

Las unidades manejadoras de aire serán encendidas y apagadas por el sistema central según el horario establecido en cada área, la diferencia de temperatura y humedad entre las de zona y las establecidas (setpoints) producirán la actuación de la válvula de tres vías y recalentador. Las temperaturas de suministro, retorno y mezcla así como la humedad de retorno sirven para la calibración y monitoreo del sistema. El switch diferencial de presión de flujo indica si el estado de la unidad es prendido o apagado según exista flujo de aire lo cual presuriza el ducto, en cambio el switch diferencial de presión de filtro sensa una caída de presión para determinar si el filtro debe ser reemplazado o no. El damper de aire exterior permanece con una abertura del 20% para permitir la entrada de aire exterior con el fin de evitar altos niveles de CO2.

* + 1. Manejadoras de Aire de Volumen Variable

Las unidades manejadoras de volumen variable suministran aire a un ducto principal el mismo que tiene múltiples cajas terminales de volumen de aire variable los mismos que sirven zonas individuales de control con diferentes características de carga.

Es muy flexible en grandes edificaciones debido a que se pueden aumentar o reordenar las zonas mediante el aumento o reordenamiento de los terminales del ducto principal.

En la unidad ginecológica del hospital se cuenta con una unidad manejadora de aire de volumen variable la misma que acondiciona las áreas de consultorios; se justifica su uso debido a los diferentes horarios de atención y por ende diferente característica de carga.

La ubicación de los controles en la unidad manejadora de aire y las cajas terminales de volumen variable se indica en la figura 4.6

FIGURA 4.6 ESQUEMA DE CONTROL DE UNIDAD MANEJADORA DE AIRE DE VOLUMEN VARIABLE



* Sensor de temperatura de zona
* Sensor de temperatura de suministro
* Sensor de temperatura de retorno
* Sensor de temperatura de mezcla
* Switch diferencial de presión de flujo
* Switch diferencial de presión de filtro
* Damper de retorno
* Damper de aire exterior
* Válvula de tres vías
* Variador de frecuencia

Las unidades manejadoras de aire serán encendidas y apagadas por el sistema central según el horario establecido en cada área, cuando una caja terminal de volumen de aire variable cierra las compuertas debido a que la zona actualmente no necesita acondicionamiento, entonces dentro del ducto principal va a haber un aumento de presión la misma que va a ser sensada por el switch diferencial de presión ubicado en el ducto, el mismo que va a mandar una orden al variador de frecuencia conectado al motor del ventilador para que este disminuya sus revoluciones y por ende el caudal de aire, de esa forma disminuye la capacidad de enfriamiento necesario y consecuentemente se ahorra energía. Las lecturas de temperatura de suministro, retorno y mezcla además de servir para calibración y monitoreo del sistema éstos “informarán” al sistema si se controla la capacidad de enfriamiento con la válvula de tres vías. El switch diferencial de presión de filtro sensa una caída de presión para determinar si el filtro debe ser reemplazado o no. El damper de aire exterior permanece con una abertura del 20% para permitir la entrada de aire exterior con el fin de evitar altos niveles de CO2.

* + 1. Caja de volumen Variable

Las cajas terminales de volumen de aire variable son una solución energéticamente eficiente cuando se requiere acondicionar varias zonas con diferentes cargas térmicas. Las cajas de volumen variable están diseñadas únicamente para sistemas de acondicionamiento de aire.

Estos dispositivos únicamente están controlados por el sensor de temperatura según el cual aumentan o disminuyen el caudal de aire que ingresa a la zona dependiendo si se requiere disminuir o no la temperatura de zona respectivamente como se observa en figura 4.6.

Para medir el caudal de aire se sensa la velocidad del aire y se multiplica por el área por donde pasa, la velocidad del aire se determina midiendo su capacidad de enfriamiento conocido como anemómetro de hilo caliente de temperatura constante, básicamente un dispositivo es calentado y un mecanismo determina el efecto enfriador del aire que pasa por este midiendo la temperatura actual del dispositivo o la corriente requerida para mantener el dispositivo a una temperatura constante. Este sensor tiene una gran ventaja pues puede medir velocidades de aire tan bajos como 50 pies/minuto además de ser el más económico pues utiliza thermistores; una desventaja es que provee una lectura de flujo puntual por lo que; para una correcta lectura, los sensores tienen que ser ubicados correctamente según varias reglas como ubicar en flujos de aire laminares o con la mínima turbulencia y estar lo más centrado en el flujo de aire para evitar las variaciones de velocidad producidas por la fricción entre el aire y el ducto.

* + 1. Ventiladores de Suministro y Extracción

El sistema de control central controlará únicamente el prendido y apagado de los ventiladores de suministro y extracción según el horario establecido.

El objetivo de estos controles instalados en los equipos de acondicionamiento de aire es reducir el consumo energético global, lo mismo que se demuestra en el capítulo 5.