

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Control y Monitoreo del Sistema de Aire Acondicionado de la
Unidad Ginecológica del Hospital Universitario
de la ciudad de Guayaquil”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

César Estuardo Proaño Ríos

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2004

AGRADECIMIENTO

A Dios por Guiar mis pasos, a mis Padres por ayudarme a ser mejor, Verónica, Esteban, Roberto, Manoly, Estrelli y Karina Franco por ayudarme y acompañarme incondicionalmente.

Al Ing. Eduardo Donoso, Director de Tesis, Ing. Nelson Salazar, Ing. Fulgencio Calero por sus valiosos consejos, Ing. Milton Palacios y todo el personal de las compañías Sisclima y ED & hijos.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

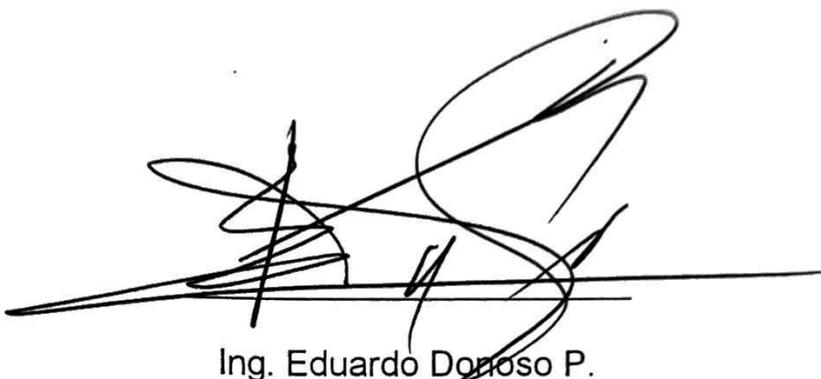


César Estuardo Proaño Ríos

TIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Francisco Andrade S.
SUBDECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Eduardo Donoso P.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Mario Patiño A.
VOCAL

RESUMEN

En la actualidad la competitividad es un factor clave para la permanencia de una empresa en un mercado cada vez más globalizado siendo las condiciones de trabajo: temperatura, humedad, calidad del aire, etc. factores importantes en el quehacer diario para aumentar la productividad y calidad en los servicios tanto para el cliente como para los empleados. En el caso de la unidad de un hospital es esencial la ventilación para renovar el aire y reducir el riesgo de contaminación biológica, principalmente en áreas que deben permanecer estériles como quirófanos.

Dichas condiciones de trabajo requieren de equipos cada vez más complejos y grandes conforme mayores sean los requerimientos y espacio a climatizar, respectivamente. Esto conlleva a un mayor consumo energético aumentando los costos de comercialización de productos o de alícuotas en instituciones como hospitales y universidades. Así también un

mayor consumo energético tiene un impacto negativo en el medio ambiente debido a las emanaciones producidas por las plantas termoeléctricas encargadas de la generación eléctrica como se describe con más detalle en el capítulo 1.

Debido a estos y otros factores es imperativo realizar un control automático del sistema de climatización conforme mayor sea la carga de enfriamiento requerida; para esto, se han implantado técnicas de control y ahorro energético que permitirán dar la mayor calidad de servicios al mínimo costo.

El presente trabajo tiene por objetivo la descripción de equipos y funcionamiento de la automatización de un sistema de control y monitoreo ubicado en una unidad de un hospital como opción de ahorro energético. El caso de estudio es el sistema de control y monitoreo a implantarse en la Unidad Ginecológica del Hospital Universitario de la ciudad de Guayaquil el mismo que estará climatizado por un sistema de enfriamiento con agua helada.

Dicha central de enfriamiento cuenta con dos unidades enfriadoras de agua de 185 TR a plena carga cada una, conectadas en serie, dos torres de

enfriamiento de tiro inducido, dos bombas de agua helada de tipo centrífugo, tres bombas para enfriamiento de tipo centrífugo, un tanque de expansión, dos filtros separadores de aire, 36 manejadoras de aire, 4 unidades ventilador serpentín (fan-coil) de tipo horizontal de tumbado, extractores centrífugos, extractores tipo gabinete en línea (in-line), extractores tipo hongo, ventiladores de suministro, cajas de volumen variables, serpentines de recalentamiento eléctrico, filtros de aire de diferentes tipos que van desde lavables hasta de alta eficiencia, consolas piso techo de expansión directa, además de todos los accesorios para la distribución de agua y aire y todo el sistema de control y monitoreo del sistema.

Para demostrar la reducción del consumo energético de la Unidad Ginecológica del Hospital se describirán los equipos, la operación automática e instalación de los controles de las unidades de aire acondicionado, para luego realizar un monitoreo del consumo energético y compararlo con el consumo que demandaría un sistema de aire acondicionado sin sistema de control.

Con esta comparación se busca un estimado del porcentaje de energía eléctrica ahorrada, el tiempo estimado en que se amortiza el sistema de control y los diversos beneficios que se obtienen de su uso.

Finalmente se indica la calibración y puesta en marcha del sistema, se tabulan los resultados y se los analizan en las conclusiones y recomendaciones.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGÍA.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE PLANOS.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. IMPACTO DE LOS SISTEMAS ELECTROMECÁNICOS EN EDIFICIOS.....	3
1.1 Alcance de los Sistemas Electromecánicos en Edificios.....	5

1.2	Impacto en la planeación de espacio.....	6
1.3	Impacto en el costo de construcción.....	10
1.4	Selección de la ubicación de los sistemas electromecánicos.....	13
1.5	Energía y Conversión de Energía.....	18
1.6	Impacto de Edificios en el Ambiente Global.....	22
1.7	Diseños sensibles ambientalmente.....	26
1.8	Lista de requerimientos electromecánicos de un edificio.....	36

CAPÍTULO 2

2.	SISTEMAS DE CONTROL DE AIRE ACONDICIONADO.....	38
2.1	Tipos de Sistemas	41
2.2	Selección.....	54

CAPÍTULO 3

3.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL EN UNIDAD GINECOLÓGICA DEL HOSPITAL UNIVERSITARIO.....	55
3.1	Componentes del Sistema.....	59
3.2	Programación por Sistema de Bloques.....	75
3.3	Arquitectura del Sistema de Control.....	83

CAPÍTULO 4

4. DESCRIPCIÓN DE OPERACIÓN AUTOMÁTICA E

INSTALACIÓN DE EQUIPOS DE CONTROL EN EQUIPOS

DE AIRE ACONDICIONADO..... 84

4.1 Agua..... 85

4.1.1 Chillers.....87

4.1.2 Bombas de Agua Helada.....94

4.1.3 Agua de Enfriamiento..... 95

4.1.4 Ventiladores de Torre de Enfriamiento..... 96

4.2 Aire..... 98

4.2.1 Fan Coil..... 98

4.2.2 Manejadoras de Aire de Volumen Constante (CAV)..... 99

4.2.2.1 Sin Recalentador..... 100

4.2.2.2 Con Recalentador..... 102

4.2.3 Manejadoras de Aire de Volumen Variable (VAV)..... 105

4.2.4 Caja de Volumen Variable..... 108

4.2.5 Ventiladores de Suministro y Extracción..... 110

CAPÍTULO 5

5. AHORRO ENERGÉTICO.....	111
5.1 Monitoreo inicial del Sistema.....	112
5.2 Comparación de Consumo Energético en Sistema Controlado vs. Sistema sin Control.....	122

CAPÍTULO 6

6. CALIBRACIÓN Y PUESTA EN MARCHA.....	123
--	-----

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	134
--	-----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

ASHRAE	Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (por sus siglas en ingles)
IESNA	Sociedad Ingenieril de Iluminación de Norte América (por sus siglas en inglés)
EPA	Agencia de Protección del medio ambiente (por sus siglas en inglés)
IGU	Unidad de Vidrio Aislado (por sus siglas en inglés)
DDC	Controles Directos Digitales (por sus siglas en inglés)
NC	Control de ruido (por sus siglas en inglés)
TR	Toneladas de Refrigeración
UMA	Unidad Manejadora de Aire
MZ	Microzone
RTD	Detector Térmico Resistivo (por sus siglas en inglés)
VAV	Volumen de Aire Variable (por sus siglas en inglés)
BAS	Sistema de Automatización del Edificio (por sus siglas en inglés)
PEM	Módulo de equipo empacado (por sus siglas en inglés)
GUI	Interfase Gráfico del Usuario (por sus siglas en inglés)
GCM	Módulo de Control Global (por sus siglas en inglés)

SIMBOLOGÍA

A	Área
V	Volumen
T	Tiempo
°C	Grados centígrados
°F	Grados fahrenheit
GPM	Galones por minuto
KPa	Kilo Pascales
KW	Kilowatios
KW-h	Kilowatios hora
L	
lb	Libra
#	Número
CO ₂	Dióxido de Carbono



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-1 Trabajo en ductos, iluminación y cableado en la unidad ginecológica del hospital universitario	7
Figura 1-2 Visión de túnel debido a elementos sombreadores	28
Figura 1-3 Fachadas de doble superficie	31
Figura 2-1 Esquema de un lazo de control	41
Figura 2-2 Esquema de sistema de control eléctrico	42
Figura 2-3 Esquema de lazo de control electrónico	45
Figura 2-4 Esquema de un amplificador operacional	47
Figura 2-5 Esquema de sistema de control neumático de sangrado de bajo volumen	49
Figura 2-6 Esquema de sistema de control neumático de tipo relay de alto volumen	51
Figura 3-1 Controlador de zona microzone	71
Figura 3-2 Damper de aire de retorno	77
Figura 3-3 Diseño de bloque estándar	80
Figura 3-4 Arquitectura de sistema de control de Un. Gin. del Hospital Universitario	91
Figura 4-1 Esquema de instalación de sistema de agua helada y de enfriamiento	94
Figura 4-2 Vista de corte de enfriador	99

Figura 4-3	Esquema de control de unidad ventilador serpentín (fan coil)	106
Figura 4-4	Esquema de control de unidad manejadora de aire de volumen constante sin recalentador	109
Figura 4-5	Esquema de control de unidad manejadora de aire de volumen constante con recalentador	112
Figura 4-6	Esquema de control de unidad manejadora de aire de volumen variable	115
Figura 5-1	Monitoreo de porcentaje de corriente a plena carga de enfriador principal	121
Figura 5-2	Monitoreo de temperatura de salida de agua helada de enfriador principal	123
Figura 5-3	Monitoreo de consumo energético de torre de enfriamiento, bombas de agua helada, y circulación	124
Figura 6-1	Monitoreo de sala de máquinas	139
Figura 6-2	Monitoreo de unidad manejadora de aire de volumen constante sin recalentador	142
Figura 6-3	Monitoreo de unidad manejadora de aire de volumen constante con recalentador	143
Figura 6-4	Monitoreo de unidad manejadora de aire de volumen variable y cajas de volumen de aire variable	145

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-1 Rangos de área de piso para instalaciones electromecánicas en edificios	8
Tabla 1-2 Rangos de costo de sistemas elect. de edificios	12
Tabla 1-3 Criterios para ubicar la planta central en el nivel más bajo o más alto de un edificio	17
Tabla 1-4 Valores de consumo energético anual esperados para varios tipos de edificios en los Estados Unidos	20
Tabla 1-5 Perfil típico del reparto de cargas en un edificio singular	21
Tabla 1-6 Contaminantes ambientales producidos de la conversión de energía	23
Tabla 3-1 Arquitectura del sistema de control central de la unidad ginecológica del hospital universitario	86
Tabla 5-1 Valores promedio de consumo energético de bombas y torres de enfriamiento	125
Tabla 5-2 Consumo energético de unidades manejadoras de aire y unidades ventilador serpentín	128
Tabla 5-3 Listado de equipos de expansión directa y consumo Energético	132

Tabla 5-4	Comparación de consumo energético en sistemas agua-agua y aire-aire	134
Tabla 5-5	Consumo energético mensual y tiempo de recuperación de capital de sistema de control central	135

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1 Descripción de sensores de temperatura y humedad

Plano 2 Descripción de sensores de presión y flujo y variador de frecuencia



POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA 'GONZALO ZEVALLOS'
F.I.M.C.P.

INTRODUCCIÓN

Conforme se va desarrollando tecnología a través de los años, la demanda energética ha ido en aumento, los nuevos avances han permitido que se logren construir edificios más altos y que presten mayor cantidad de servicios y seguridad. Todos estos beneficios representan un incremento tanto en el costo inicial de inversión como en los costos operativos a tal punto que los edificios demandan gran cantidad de la energía consumida por una ciudad.

Para reducir el impacto económico e impacto ambiental se requieren de diferentes estrategias de ahorro principalmente de consumo energético que van desde cambios arquitectónicos hasta uso de tecnología de control. Éste último es el aplicado en el sistema de acondicionamiento de aire de la Unidad Ginecológica del Hospital Universitario de la ciudad de Guayaquil.

Para el caso de estudio se busca un ahorro energético con la aplicación de un sistema de control central, para esto se indican los diversos tipos de sistemas de control existentes y sus características para luego escoger el que más se adapte a los requerimientos de la Unidad Ginecológica. Luego de escogido el sistema de control, se describen los componentes del sistema, su programación y la construcción de la arquitectura de control.

Como todo establecimiento hospitalario tiene áreas con distintos requerimientos técnicos –quirófanos, áreas estériles, áreas públicas, etc.- se describen los instrumentos y equipos utilizados según el área que se vaya a acondicionar y controlar.

Habiéndose realizado la instalación del sistema se procede con el monitoreo de toda la edificación para observar el comportamiento del mismo conforme pasa el tiempo para luego comparar su consumo energético con el de un sistema sin control central. Con dicha comparación se demuestra la cantidad de energía eléctrica que se ahorra y el tiempo de amortización del sistema de control.

CAPÍTULO 1

1. IMPACTO DE LOS SISTEMAS ELECTROMECAÑICOS EN EDIFICIOS

A través de la historia los edificios han ido cambiando conforme a los nuevos requerimientos de la sociedad, dependiendo de su ubicación geográfica, país, uso, nivel social, etc.. En la actualidad los edificios brindan mejores ambientes para trabajar y vivir, proveen mejor iluminación, temperatura de espacio, humedad y calidad de aire, capacidad de carga eléctrica y comunicaciones, instalación sanitaria y sistemas confiables de protección de vida y propiedad.

Los nuevos avances tecnológicos han permitido abrir más las opciones de diseño arquitectónico en estilo, forma y alcance, cosas que no eran posibles años atrás. Por ejemplo los nuevos diseños de centros comerciales son de tipo bloque, sin ventanas (lo que permite a los

visitantes enfocar toda su atención en todo lo que brindan sus locales) las mismas que son completamente dependientes de los sistemas de iluminación, ventilación y acondicionamiento de aire, los nuevos edificios de gran altura requieren de elevadores de alta velocidad, agua a alta presión para consumo, limpieza y sistema contra incendios.

Todos estos nuevos requerimientos exigidos ahora por la nueva sociedad tienen un costo, los sistemas electromecánicos demandan espacio considerable en piso y en tumbado. En la fase preliminar de la planeación de un proyecto se debe determinar si el sistema será centralizado o no, de ser centralizado se debe determinar la ubicación del cuarto de máquinas el mismo que afectará los tipos de sistemas a escogerse.

Asimismo “los sistemas electromecánicos aumentan el costo de construcción de un edificio, en algunos casos cerca o sobre el 50 por ciento del costo total⁽¹⁾”, tal es el caso de hospitales, centros de computación y edificios de investigación, este último menos común en nuestro país.

⁽¹⁾ Tao William, Janis Richard, Mechanical and Electrical systems in Buildings, (2da. Edición: New Jersey, Prentice Hall, 2001), pp. 1

Los edificios con nuevas tecnologías también tienen un alto consumo energético, “los nuevos edificios tecnológicos junto con instalaciones residenciales, comerciales e industriales contabilizan por sobre el 50 por ciento de toda la energía usada por una ciudad industrializada ⁽¹⁾”, de ahí la importancia de controlar y disminuir el consumo energético por medio de nuevos tipos de diseños, auditorias energéticas y sistemas de control automático.

1.1 Alcance de los Sistemas Electromecánicos en Edificios

El nivel de tecnificación de un edificio varía de acuerdo a muchos factores como: estándar de vida de la sociedad, condiciones climáticas de la región, tipo de uso que se va a dar al edificio y calidad del edificio. Por ejemplo en la ciudad de Guayaquil no es necesario un sistema de calefacción por su clima cálido, en un edificio de oficinas de tres o cuatro pisos se pueden poner unidades de acondicionamiento de aire tipo ventana, en un edificio moderno de 10 pisos se utilizan sistemas centralizados, en la Unidad Ginecológica del Hospital Universitario de la Ciudad de Guayaquil (caso de estudio) se requieren equipos especiales en lugares específicos tales como los quirófanos donde debe haber un control total de temperatura, humedad y calidad del aire.

⁽¹⁾ Tao William, Janis Richard, Mechanical and Electrical systems in Buildings, (2da. Edición: New Jersey, Prentice Hall, 2001), pp. 1

1.2 Impacto en la planeación de espacio

El área destinado para la ubicación de los sistemas electromecánicos depende de muchos factores tales como tipo de ocupación, condiciones climáticas, estándares de vida y calidad y diseño general arquitectónico. Dicha área afecta el área bruta del piso, forma y tamaño del piso subterráneo, altura piso a piso y geometría arquitectónica.

La ubicación del espacio para los sistemas electromecánicos es trascendental en el diseño mecánico del edificio pues la selección de equipos a utilizarse y sus rendimientos depende de esto. Los espacios designados para los sistemas electromecánicos en ocasiones son más altos que los pisos normales requiriendo alturas de 1 ½ a 2 veces la altura normal. En la figura 1-1 se observan las diferentes instalaciones en el plenum del Hospital Universitario que va desde los 35 cm. hasta 1m. de altura.



FIGURA 1-1 TRABAJO EN DUCTOS, ILUMINACIÓN Y CABLEADO EN LA UNIDAD GINECOLÓGICA DEL HOSPITAL UNIVERSITARIO

En la arquitectura actual principalmente en áreas de comercio y oficinas, el trabajo de ductos, tuberías e iluminación está expuesto.

La Tabla 1-1 indica el rango de área de piso para instalaciones electromecánicas expresado en porcentaje basado en el tipo de ocupación; aunque los rangos son generales sirven de base para comenzar el proceso de planeación.

TABLA 1- 1
RANGOS DE ÁREA DE PISO PARA INSTALACIONES
ELECTROMECAÓNICAS EN EDIFICIOS (1)

Tipo de Ocupación	Porcentaje de Área Bruta del Edificio		
	Bajo	Medio	Alto
Centros de cómputo	10	20	30
Tiendas de departamentos	3	5	7
Hospitales	5	10	15
Hoteles	4	7	10
Oficinas	2	4	6
Laboratorios de investigación	5	10	15
Residencial, ocupación simple	1	2	3
Residencial, gran altura	1	3	5
Tiendas de venta al por menor	1	2	3
Escuela elemental	2	3	4
Escuela secundaria	2	4	6
Universidades y Colegios*	4	6	8

*Otros edificios usados para áreas de clase siguen el espacio requerido por edificios especiales como laboratorios, centros de cómputo, residencias, etc.

Esta tabla indica el espacio requerido para sistemas electromecánicos centralizados donde forma parte las centrales de acondicionamiento aire enfriadas con agua (como en el caso de estudio).

En la Unidad Ginecológica del Hospital Universitario el porcentaje utilizado para instalaciones electromecánicas del área bruta de la edificación es el siguiente:

Área Planta Baja:	3000 m ²
Área Planta Alta:	3180 m ²
Área Cubierta:	3180 m ²
Área Total:	<hr/> 9360 m ²
Área de Máquinas:	650 m ²

Por lo tanto el rango utilizado para instalaciones electromecánicas es:

$$\frac{A_{\text{máquinas}}}{A_{\text{total}}} = \frac{650m^2}{9360m^2} \cong 0.07$$

Los sistemas electromecánicos ocupan cerca del 7% del área bruta de la Unidad, situándose en medio del rango medio-bajo de los rangos de área de piso para este tipo de instalaciones (tabla 1-1), esto es debido a que el cuarto de máquinas principal del sistema de acondicionamiento de aire (enfriadores, bombas, torres de enfriamiento) están situados

fuera de la unidad gracias a que el hospital cuenta con amplios espacios, así también se evitan problemas de ruido y vibración hacia la unidad.

Si en un caso se utilizaran acondicionadores de aire tipo ventana el espacio requerido para los sistemas electromecánicos será reducido, pero por otra parte estos equipos son antiestéticos y menos eficientes energéticamente por lo que en grandes obras se utilizan sistemas centralizados de acuerdo a los requerimientos de áreas comunes.

1.3 Impacto en el costo de construcción

Impacto de la altura del edificio en el costo de construcción

A mayor altura de un edificio mayor será el tiempo de construcción, mayores costos para equipos de elevación, una programación más compleja para el manejo de material a los niveles más altos, sistemas estructurales y electromecánicos más complejos, entre otros.

“Para un edificio mayor a 10 pisos, el costo unitario por área de piso será incrementado alrededor de un 5% al 15% para los 5 pisos siguientes, y otro 10% a 15% por cada 5 pisos adicionales ⁽¹⁾”.

Conforme aumenta la altura de un edificio, mayor será el costo unitario debido a muchos factores que afectan el mismo como la ubicación de la

⁽¹⁾ Tao William, Janis Richard, Mechanical and Electrical systems in Buildings, (2da. Edición: New Jersey, Prentice Hall, 2001), pp. 13

edificación, facilidad de manejo de material, detalles arquitectónicos y experiencia de los contratistas en la construcción de edificios de gran altura; sin embargo, estos valores sirven como guía para determinar el impacto de la altura en el costo de construcción.

Impacto de los sistemas electromecánicos en el costo de construcción

El diseño de los sistemas electromecánicos varía grandemente - y por ende su costo- dependiendo del tipo de edificio a construir, el estándar de vida, diseño arquitectónico, etc.

Los rangos de costos de sistemas electromecánicos para edificios de alta calidad con instalación de acondicionadores de aire para todo el espacio está dado en la tabla 1-2, éstos valores pueden servir como una referencia general desde el cual se modifica y refinan los costos a través del proceso de diseño.

TABLA 1- 2**RANGOS DE COSTO DE SISTEMAS ELECT. DE EDIFICIOS (1)**

Tipo de Ocupación	Porcentaje Cto. Total del Edificio		
	Bajo	Medio	Alto
Centros de Cómputo	30	45	60
Tiendas de departamentos	20	25	30
Hospitales (investigación)	30	40	50
Hospitales (clínica)	25	30	35
Hoteles (residencia)	20	30	35
Hoteles (convenciones)	25	35	40
Oficinas (general)	20	25	35
Oficinas (alta tecnología)	25	35	45
Laboratorios de investigación	30	40	50
Residenciales, ocup. simple	10	15	20
Residenciales, gran altura	15	20	25
Tiendas al detalle	10	20	25
Departamentos al detalle	20	25	30
Escuelas	15	20	30
Colegios	15	25	35
Universidades, instituciones	20	30	40

Impacto en costos operativos

La mayoría de los componentes arquitectónicos y estructurales excepto la cubierta son de larga duración sin necesidad de reemplazo frecuente; en cambio, la mayoría de los sistemas electromecánicos además de consumir energía requieren de planes de mantenimiento de rutina y reparaciones al punto que en un ciclo de vida el costo de operar dichos sistemas puede sobrepasar el capital inicial de inversión de todo el edificio.

1.4 Selección de la ubicación de los sistemas electromecánicos

En edificios de gran altura la ubicación de sistemas electromecánicos son cada cierto número de pisos. Edificios de la misma forma y configuración ubicados en lugares geográficos diferentes pueden favorecer ubicaciones diferentes para los sistemas electromecánicos y plantas centrales. Así también otros factores como el clima, nivel económico y cultural de un país afectan la ubicación de los sistemas electromecánicos.

Como se indica en la Tabla 1-1 los equipos de los sistemas electromecánicos toman un espacio muy importante; por ejemplo, el promedio de área de piso de un sistema electromecánico en un edificio de oficinas es alrededor del 4% del área bruta total del edificio. Por

ejemplo, para un edificio de 25 pisos con un área bruta de 20.000 metros cuadrados, 800 pies cuadrados serán inicialmente asignados como espacio de los sistemas electromecánicos. Esto es equivalente a un piso completo del edificio; asimismo, dos pisos serán necesarios para equipo electromecánico en un edificio de 50 pisos, y cuatro pisos en un edificio de 100 pisos. Este espacio destinado para los sistemas electromecánicos será definido en el diseño preliminar del edificio en coordinación mutua entre ingenieros y arquitectos para una solución óptima.

Los equipos para un sistema electromecánico pueden ser centralizados o descentralizados dependiendo de los requerimientos. Con cualquiera de ellos se necesita un equipo local (en cada piso) y espacio de distribución; la diferencia radica en que en un sistema centralizado la mayoría del equipo se encuentra en uno o dos pisos con pequeños espacios para los equipos en cada piso y viceversa en el caso de sistemas descentralizados.

Independientemente de esto todos los edificios necesitan uno o más niveles subterráneos para servicio utilitario, reparto de suministros, almacenamiento de combustibles, etc. además los niveles subterráneos proveen mejor estabilidad estructural para la cimentación del edificio.

El parqueo subterráneo para automóviles es una demanda inevitable en todo edificio; normalmente, un sistema electromecánico central tiene que estar localizado en un nivel subterráneo, sin embargo esto no siempre es posible desde que los sistemas electromecánicos frecuentemente impiden el acceso a y desde el garaje de parqueo. Por esta y otras razones las plantas centrales electromecánicas pueden estar localizadas en la parte más alta o en niveles intermedios.

Los factores que afectan la ubicación de la planta central son las siguientes:

- ◆ Accesibilidad para cargar y descargar equipo
- ◆ Proximidad al suministro de aire exterior y descarga de aire de extracción
- ◆ Altura de piso adecuada
- ◆ Interferencia con un plan conveniente de parqueo
- ◆ Seguridad. Algunos equipos como: calderos, enfriadores y transformadores sumergidos en líquido, contienen una cantidad considerable de energía almacenada o material tóxico. Este equipo debe estar confinado dentro de paredes a prueba de fuego

- ◆ Proximidad de los componentes del sistema como el enfriador y el condensador con torres de enfriamiento
- ◆ Facilidad de mantenimiento
- ◆ Vibración y ruido producido por el equipo
- ◆ Estética. No tan importante pero una planta central podría desvirtuar o resaltar el diseño arquitectónico.

La tabla 1-3 lista los criterios de ubicación de la planta de máquinas en un edificio.

TABLA 1- 3

**CRITERIOS PARA UBICAR LA PLANTA CENTRAL EN EL NIVEL
MÁS BAJO O MÁS ALTO DE UN EDIFICIO (1)**

A favor de nivel más alto	A favor de nivel más bajo
La línea del elevador requiere que el cuarto de máquinas sobresalga sobre el piso más alto. Si la planta central está en el nivel más alto, el cuarto del elevador puede estar contenida dentro del mismo espacio.	Cuando se desea una ocupación temprana de los pisos inferiores. Una ubicación de la planta central en el nivel más bajo, permite un comienzo temprano y una conclusión temprana de los sistemas electromecánicos.
Cuando la carga térmica es significativa debido al techo. Entonces el cuarto de máquinas actúa como atenuador de ganancia de calor.	Cuando la atenuación de la vibración y ruido en la planta central es muy costosa.
Cuando el aire de extracción o alivio contiene sustancias contaminantes o sustancias peligrosas; éstas no pueden ser descargados a nivel del suelo.	Cuando la energía de enfriamiento o calentamiento es suministrada desde fuentes remotas del edificio.

<p>Cuando la calidad del aire exterior es una prioridad. En general, la calidad del aire en lugares urbanos es mejor en altas elevaciones que a nivel del suelo.</p>	<p>Cuando el techo es usado para otros propósitos como piscinas, club, etc.</p>
<p>Cuando se usa una planta de calefacción que usa combustible. El espacio requerido para las chimeneas es eliminada en todos los pisos .</p>	<p>Existe mayor facilidad de mantenimiento (los condensadores deben ser limpiados por lo menos una vez al año y se requiere espacio para trabajar)</p>
<p>Cuando la localización de una planta central en un nivel bajo interferirá con un plan de parqueo subterráneo.</p>	
<p>Cuando la torre de enfriamiento debe estar localizada en el techo.</p>	

1.5 Energía y Conversión de Energía

Antes de la crisis energética de los 70's el consumo energético en los edificios de los países más desarrollados era el doble de lo que fue en los 90's.

El consumo energético anual de un edificio de oficinas en el medio oeste de los Estados Unidos ha sido reducido de alrededor de 150.000 a 200.000 btu por pie cuadrado por año a alrededor de 60.000 a 75.000 btu por pie cuadrado por año ⁽¹⁾.

Con las mejoras continuas que se van dando en tecnología y el proceso de diseño estos valores seguirán siendo reducidos.

La tabla 1-4 indica ciertos valores de consumo energético anual esperados que se han establecido en los Estados Unidos para paulatinamente ir aumentando los controles, la tabla 1-5 tabula la distribución de energía consumida por un edificio singular.

⁽¹⁾ Tao William, Janis Richard, Mechanical and Electrical systems in Buildings, (2da. Edición: New Jersey, Prentice Hall, 2001), pp. 17

TABLA 1- 4**VALORES DE CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL ESPERADOS PARA
VARIOS TIPOS DE EDIFICIOS EN LOS ESTADOS UNIDOS (1)**

Tipo de Ocupación*	Consumo Energético Anual	
	Btu/pie²-año	KJ/m²-año
Edificio de oficinas	60.000	5.300
Alojamiento multifamiliar	50.000	4.400
Tiendas al detalle	60.000	5.300
Shopping centres	70.000	6.200
Hoteles /moteles	70.000	6.200
Escuelas	40.000	3.500
Colegios	50.000	4.400
Almacenes	35.000	3.100
Estadios	60.000	5.300
Clínicas	50.000	4.400
Casas de enfermería	70.000	6.200
Hospitales	130.000	11.500

* La ubicación de los edificios está basado en la parte centro oeste de los Estados Unidos representando la condición central de dicho país.

TABLA 1- 5
PERFIL TÍPICO DEL REPARTO DE CARGAS EN UN
EDIFICIO SINGULAR ⁽²⁾

Denominación	Porcentaje carga total	Coefficiente simultaneidad
Comunicaciones, informática y servicios auxiliares	30	1
Climatización y confort	40	0.6/0.8
Alumbrado	15	0.6/0.8
Fuerza especial	8	0.5
Varios	7	0.5

Debido a los muchos factores que afectan el consumo energético de un edificio – tamaño del edificio, clima, métodos de construcción, estilo arquitectónico, horarios de operación, etc.- los datos de consumo anual varían considerablemente; no obstante, la información tabulada es útil para hacer comparaciones e identificar los edificios que más demandan energía y las áreas que mayor control deben tener. Como se puede observar los establecimientos de salud como clínicas y hospitales son los que más demandan energía y por ende necesitan de un mayor

⁽²⁾ Olivares José, La ingeniería en edificios de alta tecnología, (España, M^c Graw Hill, 1999), pp. 8

control energético para disminuir el impacto ambiental, principalmente en el área de climatización que se distingue por tener el mayor porcentaje de la carga eléctrica total así como un alto coeficiente de simultaneidad. La Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento de Aire (ASHRAE por sus siglas en inglés) y la sociedad ingenieril de Iluminación de Norte América (IESNA por sus siglas en inglés) han desarrollado estándares de diseño energéticamente eficientes conocidos como el Estándar 90 publicado en 1975 y ultimamente revisado en 1996. Estos estándares han sido ampliamente adoptados como parte de los códigos de edificios en los Estados Unidos así como en otros países. Los estándares proveen tres métodos alternativos para alcanzar los requerimientos de uso racional de cargas en edificios: uno llamado ordenado (prescrito) , uno de rendimiento en operación del sistema y un tercero llamado de presupuesto del costo energético de un edificio.

1.6 Impacto de Edificios en el Ambiente Global

De acuerdo a las estadísticas, “los Estados Unidos consumen más de dos trillones de kilowatt-hora de energía eléctrica anualmente, alrededor de un tercio es consumido por edificios⁽¹⁾”. Si el consumo energético anual es reducido por más del 20 por ciento a través de un mejor diseño

⁽¹⁾ Tao William, Janis Richard, Mechanical and Electrical systems in Buildings, (2da. Edición: New Jersey, Prentice Hall, 2001), pp. 17

y manejo, las emisiones totales de CO₂ pueden ser reducidas alrededor de 150 millones de toneladas, lo que justifica evidentemente la conservación de la energía en edificios para disminuir el impacto en el medio ambiente. La tabla 1-6 lista los contaminantes del aire emanados como productos del proceso de conversión de energía.

TABLA 1- 6
CONTAMINANTES AMBIENTALES PRODUCIDOS DE LA
CONVERSIÓN DE ENERGÍA (1)

Energía convertida o consumida	Contaminantes ambientales producidos, gramos (lb)		
	CO₂	SO₂	NO_x
1 galón de fuel oil por combustión ^a	10500 (23.1)	45.0 (0.10)	18.3 (0.04)
1 galón de gasolina para automóviles ^b	8500 (18.8)	37.0 (0.08)	15.0 (0.03)
1 libra de carbón para combustión ^c	1090 (2.4)	9.0 (0.02)	4.4 (0.01)
1 termia de gas natural para combustión ^d	6350 (14.0)	(-)	24.0 (0.05)
1 kW-hr. de energía eléctrica generada con fuel oil ^e	860 (1.9)	3.7 (0.008)	1.5 (0.003)

1 kW-hr. de energía eléctrica generada con gas ^e	635 (1.4)	(-)	2.4 (0.005)
1 kW-hr. de energía eléctrica generada con carbón ^e	1090 (2.4)	9.0 (0.02)	4.4 (0.01)

Notas:

^a Calculado con uso de fuel oil que contiene 85 por ciento de carbón, 12% de hidrógeno y 7.4 lb/gal.

^b Calculado con el uso de mezcla de gasolina de C_8H_{18} y (C_nH_{2n+2}) que contiene 84% de carbón, 15% de hidrógeno y 6.1 lb/gal.

^c Calculado con el uso de carbón bituminoso que contiene 65% de carbón y 3.8% de sulfuro.

^d Calculado con el uso de mezcla de metano (CH_4) y etano (C_2H_6) y 100000 Btu/termia

^e Datos de la EPA (Agencia de protección al medio ambiente).

Por ejemplo, un edificio de 20 000 metros cuadrados (215 278 pies cuadrados) tiene una demanda promedio de 8 W /pie² (0.008 kW /pie²) de potencia eléctrica para acondicionamiento de aire, iluminación, fontanería, sistema contra incendios, ascensores y otros equipos.

Si el edificio opera alrededor de 4000 horas por año, la energía eléctrica anual consumida será:

$$215,278 \text{ pies}^2 \times 4,000 \frac{\text{horas}}{\text{año}} \times 0.008 \frac{\text{kW}}{\text{pie}^2} = 6,888,900 \frac{\text{kW} - \text{hora}}{\text{año}}$$

Asumiendo que la planta generadora es termoeléctrica de carbono, de la tabla 1-6, la cantidad de contaminantes ambientales generados por la planta generadora que es atribuible a la energía usada en el edificio de oficinas son los siguientes:

- ◆ Dióxido de carbono (CO₂): 6,888,900 x 2.4 = 16,533,366 lb /año
- ◆ Dióxido de azufre (SO₂): 6,888,900 x 0.02 = 137,778 lb /año
- ◆ Óxido de nitrógeno (NO_x): 6,888,900 x 0.01 = 68,890 lb /año

Con estos resultados se demuestra la cantidad alarmante de contaminantes emitidos para la operación de un edificio. Si un 10% de conservación de energía puede ser alcanzada mediante un mejor diseño y controles, entonces únicamente la emisión de CO₂ será reducida en 1,653,336 lb /año, y los otros contaminantes proporcionalmente.

1.7 Diseños sensibles ambientalmente

Con el deterioro continuo de nuestro ambiente y consumo de nuestros limitados recursos naturales hemos llevado al límite a nuestro ambiente en el cual los diseños alternativos deben ser seriamente considerados y realizados.

Históricamente por una variedad de razones económicas, tecnológicas o logísticas, los diseños de edificios no han sido puntos totalmente direccionados ambientalmente; sin embargo, la población en general y varios gobiernos están buscando hacer un cambio. Este cambio une grupos de diseño y constructores para ser más responsables y flexibles en el diseño y construcción de edificios. El resultado ha sido la aplicación de ediciones “verdes” para edificios que consiste en crear diseños ambientalmente responsables e integrados.

La Fachada Arquitectónica

Un gran porcentaje de la carga de enfriamiento consumida en un edificio es debido a la radiación solar, ganancias y pérdidas conductivas y convectivas. Existen otras ganancias de calor por parte de personas y equipos del edificio pero éstas son pequeñas comparadas con la ganancia solar a través de la fachada del edificio.

En las fachadas convencionales o de superficie simple la ganancia solar es medida mediante el control de superficies transmisibles añadiendo películas a las ventanas o adicionando recubrimientos reflectivos y tintas a las superficies de vidrio para reducir la carga solar. Todas estas soluciones son efectivas aunque no óptimas debido a que la radiación solar alcanza y penetra las películas.

Asimismo desde el punto de vista del usuario, los espacios reducidos de aberturas o la calidad de recubrimientos y tintas impiden la entrada de luz natural hacia el edificio y reduce la vista real del ambiente externo. La manera más efectiva de evitar la ganancia solar es evitando la entrada de radiación solar a la superficie que se quiere proteger, de lograr esto se requerirá menor capacidad de enfriamiento del sistema y por consecuencia, menor consumo energético.

Una de las soluciones para evitar la incidencia de la radiación solar es la utilización de elementos externos de sombreado el mismo que tiene una orientación horizontal para un gran ángulo solar y una orientación vertical para un bajo ángulo solar.

Para que dichos elementos sean efectivos, éstos deben tener suficiente profundidad, sin embargo, al ser demasiado profundos o al estar

espaciados muy frecuentemente se convierten en objetos de distracción visual, los mismos que pueden causar una “visión de túnel” Figura 1-2.

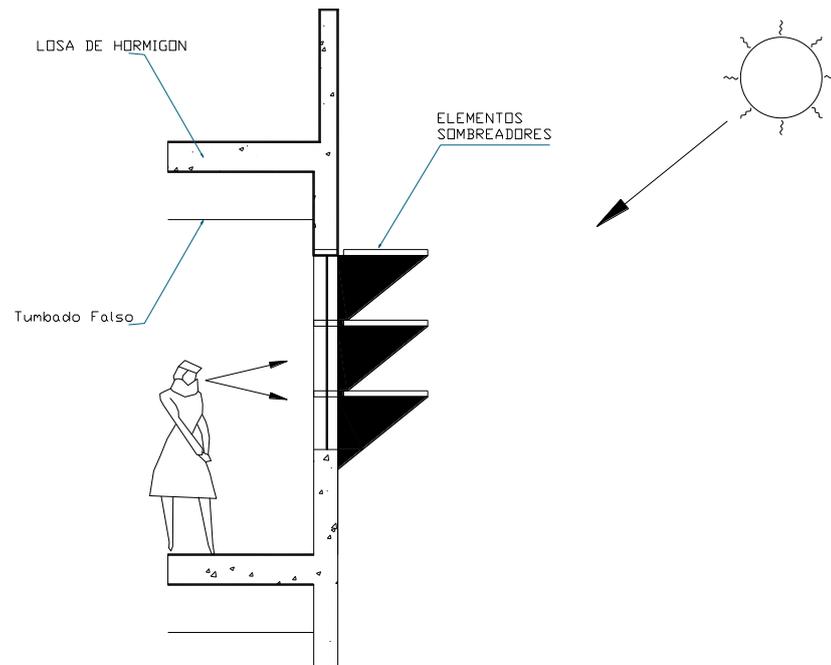


FIGURA 1-2: VISIÓN DE TÚNEL DEBIDO A ELEMENTOS SOMBREADORES

Un problema adicional con los elementos sombreadores es que éstos pueden ser técnicamente difíciles de instalar en edificios de gran altura donde las fuerzas del viento pueden ser extremas requiriendo soluciones de alta ingeniería que no son viables económicamente.

Las soluciones más recientes involucran una fachada de “cavidad” o “doble superficie”, el principio es que la cavidad o zona entre las dos

superficies forman una especie de amortiguador entre las condiciones del clima exterior y el espacio de trabajo interior. Esta zona puede ser utilizada en una variedad de formas para relevar el impacto del ambiente exterior en el sitio de trabajo interior.

El amortiguamiento o efecto moderador permite una mayor facilidad a los equipos electromecánicos para el acondicionamiento del espacio, posibilidades que no pueden ser consideradas en una fachada de superficie simple convencional. Las especificaciones para equipos electromecánicos pueden ser disminuidas y menos tecnificadas reduciendo el consumo energético y costo inicial de inversión.

La primera ventaja de una “doble superficie” es que, sin tener en cuenta si el edificio es de alta o baja altura, la radiación solar no alcanzará la superficie de transmisión. La protección de la superficie exterior permite el uso de dispositivos de sombreado más convencionales como las persianas. La ventaja obvia de las persianas es que es una alternativa muy económica para dispositivo de sombreado externo; pero igualmente importante es que este ofrece al usuario o al arrendatario la elección de bajar o subir las persianas cuando la protección del sol no es requerida; en contraste, las ventanas sombreadas y con dispositivos de sombreado externo son permanentes.

El Edificio Técnicamente Integrado

Una fachada de doble superficie puede ser comparado con una unidad de vidrio aislado (IGU por sus siglas en inglés) o un doble recubrimiento, algo que siempre se espera en los diseños debido al “amortiguamiento térmico” que éstos proveen.

Como con un IGU, el calor aumenta en la cavidad entre las superficies por lo que se debe tener muy en cuenta el asegurarse que no hayan temperaturas excesivas que conduzcan a una falla de la unidad o la rotura del vidrio. Existen varios rangos de profundidad de cavidad, desde 25 a 46 cm. (10-18 pulgadas) hasta casi un metro (3 pies) Figura 1- 3. Lo primero ha considerar es que el control de temperatura de la cavidad puede reducir la necesidad de acondicionamiento mecánico del espacio interno.

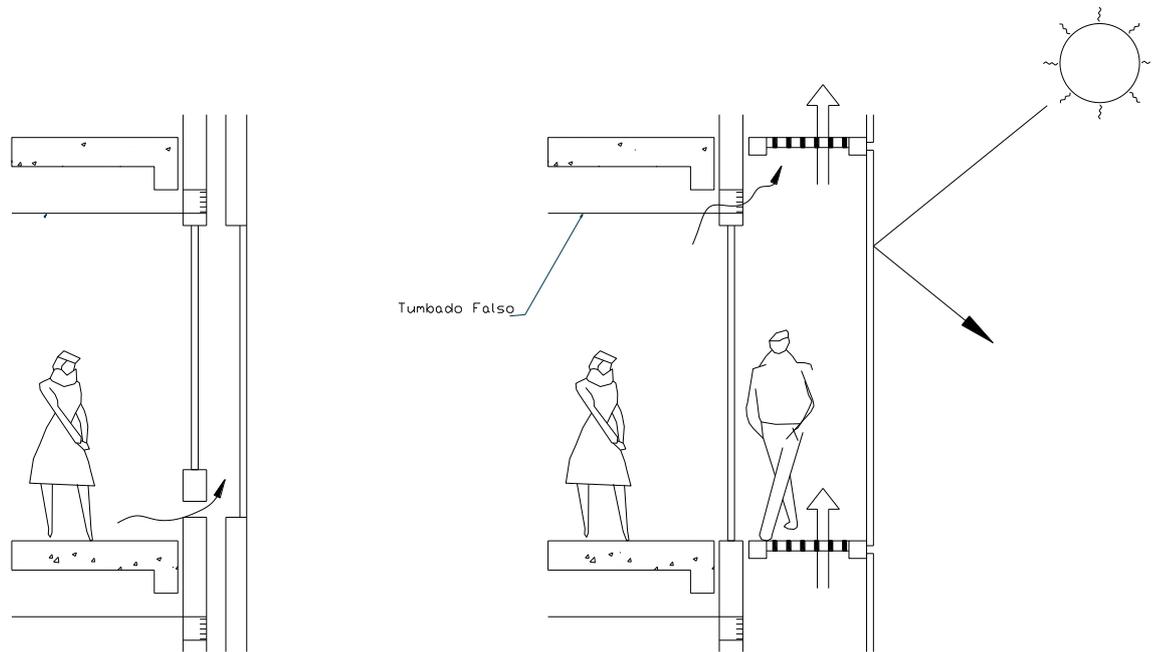


FIGURA 1-3: FACHADAS DE DOBLE SUPERFICIE

Las persianas previenen el impacto de la radiación solar directa, ventilan la cavidad en verano y previenen el aumento de temperatura en la superficie interior, tal aumento de temperatura por convección calienta el espacio y por ende aumenta la demanda de carga de enfriamiento. De forma similar, en países donde es necesario calefacción, retener el aumento de temperatura en la cavidad durante el invierno ayuda al calentamiento de la superficie interior y consecuentemente el requerimiento de calor adicional por parte de dispositivos mecánicos es menor. Esto no sólo reduce los costos operativos y el consumo energético, sino costos de capital; alternatively esto permite el uso

de calentadores eléctricos unitarios en vez de sistemas centrales de calentamiento de aire que requieren mayores inversiones de capital.

La cavidad puede también ser utilizada como un “conducto térmico” para el flujo de aire (natural o mecánico) desde el espacio interno, el mismo que requiere normalmente una solución de plenum ductado o de cielo raso. Este uso de la cavidad puede reducir los componentes de distribución de aire (ductos y pozos); sin embargo, hay que tener en cuenta en los cálculos térmicos que la humedad transferida desde el espacio interno no permita la condensación dentro de la cavidad.

Utilizando el aspecto de ducto como una forma de distribución también puede permitir la disminución de la altura piso a piso mediante la reducción de las dimensiones de la zona de distribución en el cielo raso (plenum), menores alturas significa menor construcción (y costos) o la habilidad de comprimir más el área dentro de la misma altura. Esto es particularmente relevante donde hay restricciones de altura de zona.

El Diseño Socialmente Interactivo

Los ocupantes de edificios altamente tecnificados suelen sentirse removidos del ambiente natural a un ambiente herméticamente sellado y sin control sobre éste. El concepto de cavidad da a la gente la

posibilidad de abrir la superficie interior como una ventana, se ha demostrado que la simple acción de abrir una ventana para ventilación y movimiento de aire exterior da al ocupante confort y satisfacción aunque las temperaturas experimentadas en la cavidad puedan ser mayores que aquellas en el espacio acondicionado.

Se debe poner especial atención al control de infiltración, salida de aire acondicionado, humos y migración de fuego.

Llevando más lejos el concepto de “cavidad” se pueden crear espacios ocupables en forma de atrios comunales o ecocenters, éstos dan una alternativa para uso de plantas para consumir CO₂ y como zona de distensión, o pueden ser utilizados como cámaras o plenums para mezclar aire fresco con extracciones, de ese modo se reduce la distribución vertical de ductería y provee mejores posibilidades de zonificación dentro del edificio.

Tecnologías Alternativas

Las siguientes son algunas de las nuevas tecnologías que en un futuro no muy lejano serán aplicadas en el nuevo diseño de edificios los mismos que deben ser cuidadosamente analizados para valores prácticos y económicos.

◆ **Vidrios con celdas fotovoltaicas**

La industria del vidrio ha tenido grandes avances en años recientes en cuanto a diseños ambientalmente responsables. La integración de tecnología de celdas fotovoltaicas en unidades recubiertas es un excelente ejemplo de utilización de energía solar por medio de vastas superficies que típicamente abarcan un edificio.

◆ **Vidrio de material esmaltado con coeficientes de transmisión variables**

Es el desarrollo de vidrio que es traslúcido u opaco dependiendo de la intensidad del sol reduciendo la transmisión solar.

◆ **Cubiertas radiantes**

En ciertas ubicaciones geográficas, el uso de techos enfriados pueden ser una solución alternativa. Este método utiliza la distribución de agua moderadamente fría a través de tuberías o paneles del mismo modo como se hace en un techo calentado. A diferencia de una unidad ventilador-serpentin (fan coil) o una unidad manejadora de aire que usa agua a baja temperatura, este sistema utiliza agua en su temperatura natural sin refrigeración.

◆ **Generación eólica**

Los generadores eólicos en forma de hélices son usados en varios países en campos abiertos para generar electricidad con la fuerza del viento. Sin embargo, mientras la tecnología avanza para reducir el

tamaño de estos dispositivos que trabajan con energía libre; este puede ser usado para utilizar esta forma de energía libre en edificios de gran altura donde los vientos son inherentemente fuertes a mayores elevaciones.

◆ **Almacenamiento Térmico**

Varios son los medios usados para reducir la demanda pico de energía de un edificio, los más usados son: agua enfriada, hielo o refrigerantes líquidos. La energía almacenada reducirá la necesidad de usar equipos más grandes o adicionales lo que implica menores costos de inversión. Una ventaja de esta alternativa es el consumo de energía eléctrica en horas no pico y por ende a menor costo, esta política de menores costos no se aplica todavía en nuestro país.

1.8 Lista de requerimientos electromecánicos de un edificio

Los requerimientos de un edificio varían según varios factores como presupuesto, ubicación geográfica, tipo de edificio, nivel tecnológico, etc. Luego de la selección de los sistemas electromecánicos se realiza una evaluación de costos de construcción así como la ubicación de los equipos dentro y fuera de la edificación. La lista está dividida dos grupos: sistemas mecánicos y sistemas eléctricos.

Sistemas Mecánicos

- ◆ Calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire
- ◆ Automatización: Controles ambientales, manejo, etc.
- ◆ Transporte: Elevadores, escaleras, etc.
- ◆ Instalaciones sanitarias: Suministro de agua, drenajes para agua lluvia, disposición sanitaria
- ◆ Sistema contra incendios: Suministro de agua, detección de fuego y humo, aspersores automáticos, alertas, etc.
- ◆ Sistemas especiales o auxiliares

Sistemas Eléctricos

- ◆ Fuerza Eléctrica: Suministro de poder y distribución normal, de reserva y de emergencia
- ◆ Iluminación: Interior, exterior e iluminación de emergencia
- ◆ Sistemas auxiliares: Telefonía, señal, datos, audio/video, alarma de fuego, sistemas de seguridad, etc.
- ◆ Sistemas especiales

Los grandes avances tecnológicos en materia de electricidad y electrónica aplicados a edificios han provocado un aumento en los costos de construcción y en la complejidad de la planeación.

CAPÍTULO 2

2. SISTEMAS DE CONTROL DE AIRE ACONDICIONADO

Luego que se hayan determinado las cargas térmicas, la carga de enfriamiento necesaria para el acondicionamiento de la edificación y haber seleccionado los equipos según dicha carga se prosigue con el diseño del sistema de control el mismo que operará los equipos bajo las condiciones preestablecidas.

El sistema de control provee la inteligencia de los sistemas electromecánicos el mismo que provoca la reacción de los equipos sin necesidad de la intervención de un operador para satisfacer las necesidades preseleccionadas. El control ocurre cuando una señal produce el movimiento o ajuste de un componente del equipo para

obtener un resultado requerido, ya sea ajuste de temperatura o humedad -entre otros- en el caso de acondicionamiento de aire.

En el diseño del sistema de control se debe considerar lo siguiente:

- ◆ La capacidad del sistema para controlar nuevos equipos (flexibilidad)
- ◆ Capacidad de integración del sistema instalado a un sistema de mando más complejo de todos los equipos (sistema de mantenimiento-varios niveles). Si se requiere la unificación del control de dos edificaciones – como unidades de un hospital – el sistema de control de una de las unidades debe adaptarse a un control remoto.
- ◆ Capacidad de generar gráficos, tablas y rangos en todos los sistemas del edificio

Los sistemas de acondicionamiento de aire requieren algún tipo de control, ya sea manual o automático; en el caso de un control automático, el equipo o el sistema completo operará de manera más precisa y confiable para confort, seguridad y eficiencia energética.

Un sistema de control cumple con su trabajo cuando controla por medio del equipo una o más de las siguientes propiedades del medio de transporte que puede ser agua o aire:

- ◆ Temperatura.- Con sensores que midan temperatura de operación, diferencial de temperatura, o límites de temperatura.
- ◆ Presión.- Con sensores que midan presión de operación, gradientes de presión o límites de presión.
- ◆ Flujo.- Con sensores que midan rangos de operación, diferencial de flujo o límites de rangos de flujo.
- ◆ Humedad.- Con sensores que midan un nivel de operación, diferencial de humedad o límites de humedad.
- ◆ Velocidad.- Con sensores que controlen el equipo de tal forma que esté prendido, apagado o tenga velocidades variables o múltiples.
- ◆ Tiempo.- Con un reloj o programa que controle la duración de operación del equipo.

Se recomienda que los servicios técnicos y de gestión que deben estar como mínimo controlados en un edificio tecnificado son:

Servicios Técnicos

- ◆ Iluminación
- ◆ Climatización
- ◆ Ventilación
- ◆ Seguridad
- ◆ Incendios
- ◆ Ascensores

Servicios de Gestión

- ◆ Contrato de:
 - Comunicación
 - Electricidad
 - Combustibles (gas, diesel, fuel oil, etc.)
 - Agua
- ◆ Control de horario
- ◆ Mantenimiento
- ◆ Stock de repuestos

2.1 Tipos de Sistemas

Los diferentes tipos de sistemas de control utilizados en los sistemas de acondicionamiento de aire son de lazo cerrado: tienen algún tipo de sensor para medir el parámetro a controlar el mismo que es comparado con un valor deseado; si existe una diferencia entre estas dos lecturas un comparador determina la cantidad y dirección de la diferencia con respecto al valor deseado (setpoint). Luego un controlador aplicará una lógica preprogramada para corregir dicho error, una salida del controlador mandará una orden de regulación de capacidad al dispositivo controlado y su actuador. Si la preprogramación ha sido correcta el actuador proporcionará la mezcla necesaria o el movimiento necesario para anular la diferencia de lecturas sensada, cerrando el lazo de control, figura 2.1.

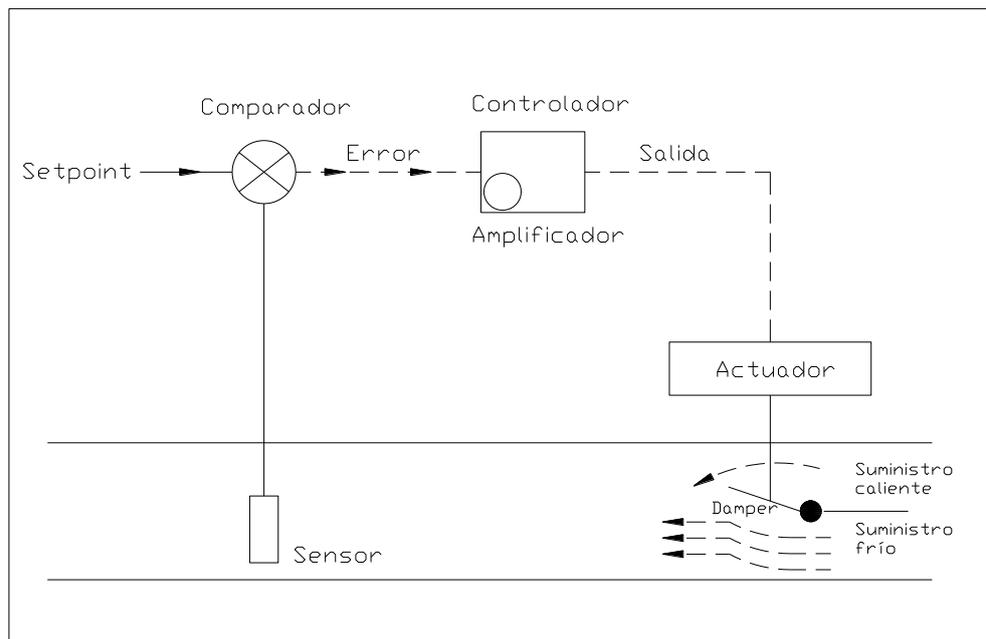


FIGURA 2-1 ESQUEMA DE UN LAZO DE CONTROL

Los sistemas de control pueden ser eléctricos, electrónicos, neumáticos, digitales directos o una combinación de éstos.

Sistemas de control Eléctrico

Los sistemas de control eléctrico pueden usar una alimentación directa de 120 voltios o de bajo voltaje que está entre los 12 a 24 voltios para controlar las funciones básicas. Los sistemas de control de bajo voltaje son preferidos debido a su mayor sensibilidad.

Usualmente los controles eléctricos tienen como tipo de salida del sistema de control los cierres de contacto; pueden ser de dos posiciones: prendido

– apagado (on - off), abierto – cerrado, alarma – normal, o pueden ser de control flotante el cual aumenta la opción nula entre las dos posiciones.

En el caso de controles eléctricos el controlador de lazo cerrado normalmente es un balance de fuerzas entre un resorte con una carga que representa el punto predeterminado (setpoint) y una fuerza opuesta generada por el sensor que representa la variable a controlar: temperatura, humedad, flujo o presión.

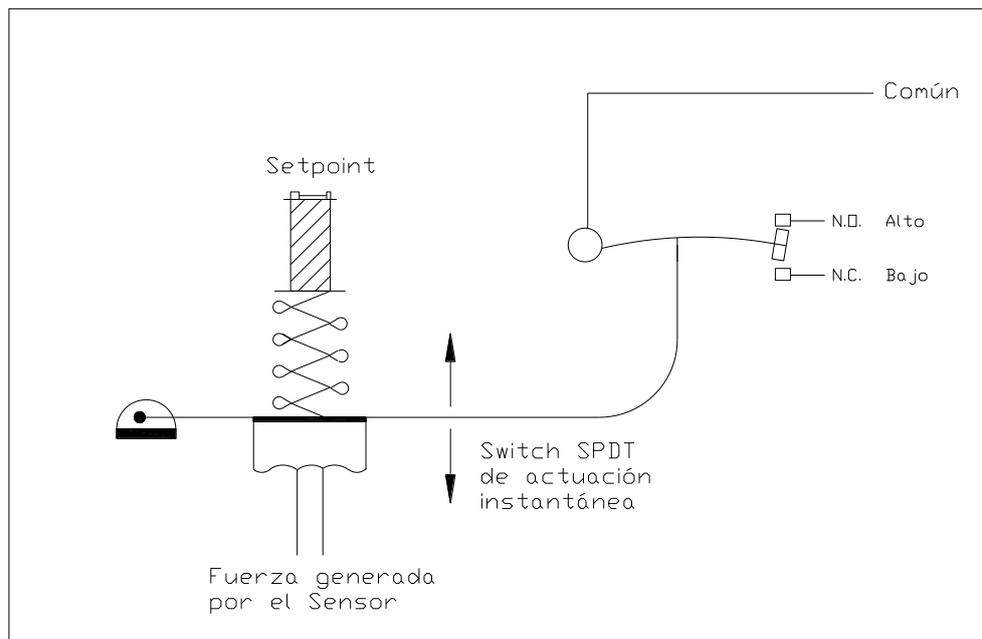


FIGURA 2-2 ESQUEMA DE SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO

Cuando la fuerza en el sensor excede la carga del resorte determinada por el punto establecido (setpoint), algunos ajustes de palancas u otras conexiones causan una carga en el resorte, un switch eléctrico de

actuación instantánea indica la posición contraria. Debido a que el switch normalmente es SPDT (single –pole double throw por sus siglas en inglés), el circuito puede ser cerrado en cualquiera de los lados según lo indicado por el punto establecido (setpoint) figura 2-2.

Debido a que el sistema de control es dinámico se debe prever un ajuste o “diferencial” para evitar ciclajes cortos y rápidos del lazo de control entre uno y otro punto en los que puede estar direccionado el switch. Este tipo de controlador se utiliza en dispositivos que tienen capacidades de salida discretas como el control de alta o baja velocidad del ventilador de enfriamiento de un condensador el mismo que es comandado por la presión del refrigerante.

Otro tipo de control eléctrico es el llamado “control flotante”; un controlador de este tipo usa un comparador de fuerzas similar al de dos posiciones pero no usa el switch de actuación instantánea. Este permite al contacto común “flotar” entre las dos posiciones en un rango nulo o “muerto” del parámetro sensado. Los dos circuitos eléctricos que pueden ser cerrados a diferentes valores sensados no son comandos ON-OFF simplemente, estos controladores son propiamente calibrados a un dispositivo mecánico que tiene un actuador proporcional de actuación lenta regulando su capacidad. Un cierre de contacto solicita lentamente

un incremento de capacidad y el otro una disminución lenta de capacidad, entre estos dos comandos el sensor flota dentro de este rango nulo alrededor del punto establecido (setpoint).

Sistemas de control Electrónicos

Esta familia de controles usa señales eléctricas analógicas, usualmente voltaje más que corriente para cumplir con las funciones de comparar y controlar.

Los dispositivos de medición son usualmente del tipo de resistencia variable los mismos que pueden medir temperatura, presión humedad o flujo. La medición de salida de estos sensores son por variación de una resistencia proporcional al parámetro de medición. Del mismo modo, el punto establecido (setpoint) es manualmente ajustado como operador de entrada al controlador el cual es usualmente una resistencia variable como un potenciómetro. Estos dos valores de la misma escala de medición (resistencia eléctrica) son comparadas entre sí en un circuito llamado un “circuito de puente”.

Los circuitos de puente son realizados en los principios básicos de un divisor de voltaje; “cualquier voltaje de corriente directa aplicado a través de un par de resistencias eléctricas será dividido a través de ellos en la misma proporción de sus valores de resistencia eléctrica⁽³⁾”.

Si 10 v. de corriente directa son conectados a través de dos resistencias idénticas, ellos partirán el voltaje equitativamente, cada uno experimentará 5 voltios. Si R1 es de 1000 ohmios y R2 es de 2000 ohmios, la partición será de 3.33 voltios a través de R1 y 6.67 voltios a través de R2. Esta es la naturaleza de un divisor de voltaje figura 2-3.

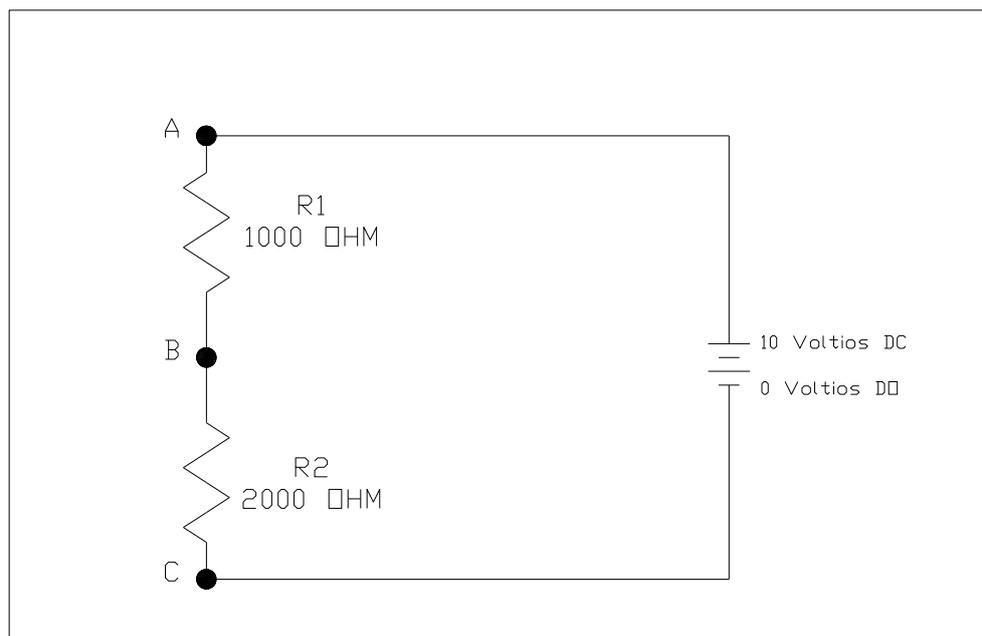


FIGURA 2-3 ESQUEMA DE LAZO DE CONTROL ELECTRÓNICO

⁽³⁾ Hartman Thomas B., Direct Digital Controls for HVAC Systems, (Seattle, Washington, McGraw Hill 1993), pp. 5

En el caso de sensor/ controlador, una de las resistencias, R2 es ajustado y el otro, R1 es el sensor. Cuando la resistencia R1 varía según varía el parámetro a medir, una diferencia de voltaje se va a experimentar a través de las dos resistencias debido al divisor de voltaje. Cualquier resistencia sensada mayor a la resistencia establecida por el punto predeterminado (setpoint) creará un mayor voltaje proporcional a través del puente y cualquier resistencia sensada menor a la resistencia establecida por el punto predeterminado (setpoint) creará un gran voltaje negativo proporcional a través del puente. Así es como los controles electrónicos cumplen la función de comparación requerida para el control.

Luego que el comparador produce una señal positiva o negativa representando el error entre la medición del sensor y el valor requerido (setpoint), el bloque amplificador debe llevar la señal de bajo nivel a un nivel útil. La cantidad de amplificación debe ser ajustable de tal forma que la sensibilidad del controlador se pueda calibrar para un cambio proporcional apropiado, como señal de salida, relativa al tamaño del error medido en el comparador. Como un verdadero controlador proporcional, los pequeños errores sólo requieren pequeñas respuestas para corregir el error, no una respuesta demasiado larga.

En controles electrónicos el dispositivo de amplificación más común es llamado amplificador operacional o Op-Amp (por sus siglas en inglés) figura 2-4.

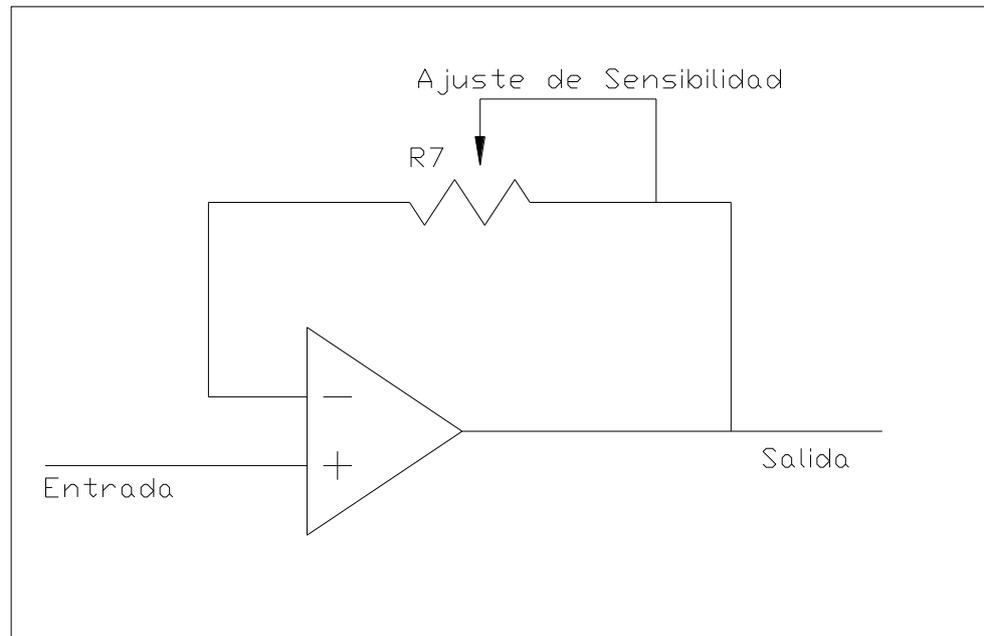


FIGURA 2-4 ESQUEMA DE UN AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Esto es un circuito electrónico de transistores preempacado que lleva cualquier voltaje conectado a este a un multiplicador ajustado. Este tiene una entrada positiva y una negativa, si el op-amp tiene un rango de amplificación 100:1, 0.1 voltios cargados al terminal positivo (+) será aumentado a una salida de 10 voltios. Debido a que esta respuesta puede ser muy grande para un pequeño cambio en la entrada se debe aumentar un ajuste en la sensibilidad la misma que se logra con una resistencia

variable conectado entre la salida y la entrada negativa (-), R7. Esto viene a ser una retroalimentación negativa que cancelará una parte de la amplificación preestablecida en el op-amp, de esta forma el controlador se ajusta al tamaño de su respuesta proporcional a un cambio en el valor de entrada.

Sistemas de control Neumáticos

Los controles neumáticos siguen siendo un sistema de control preferido en ciertas aplicaciones, cuando grandes válvulas requieren altas presiones de cerrado se seleccionan actuadores neumáticos debido a que estos pueden proveer un mayor cierre a un costo mucho menor que los actuadores eléctricos.

En los controladores neumáticos, el aire de suministro es llevado al controlador a una presión constante, usualmente entre 15 a 25 psig. Este flujo de suministro provee volumen para llenar grandes áreas dentro de los dispositivos controlados y las tuberías de conexión, y presión el mismo que provee la fuerza para hacer el trabajo requerido.

Existen dos tipos básicos de controladores neumáticos: de sangrado de bajo volumen y del tipo relay de alto volumen.

El controlador de sangrado consiste del elemento sensor, dial para establecer el punto requerido (setpoint), deslizador de sensibilidad, puerto de control y tapa. El controlador de bajo volumen requiere un suministro de aire restringido para limitar la capacidad de suministro de aire al controlador y al dispositivo controlado. Este tipo de controlador purgará la presión de suministro restringida a la presión requerida por el dispositivo de control para satisfacer el valor establecido por el controlador (setpoint). Esto se logra a través del movimiento del elemento sensor que es transmitido al diafragma a través del poste y palancas, y finalmente a la tapa y puerto de control, figura 2-5.

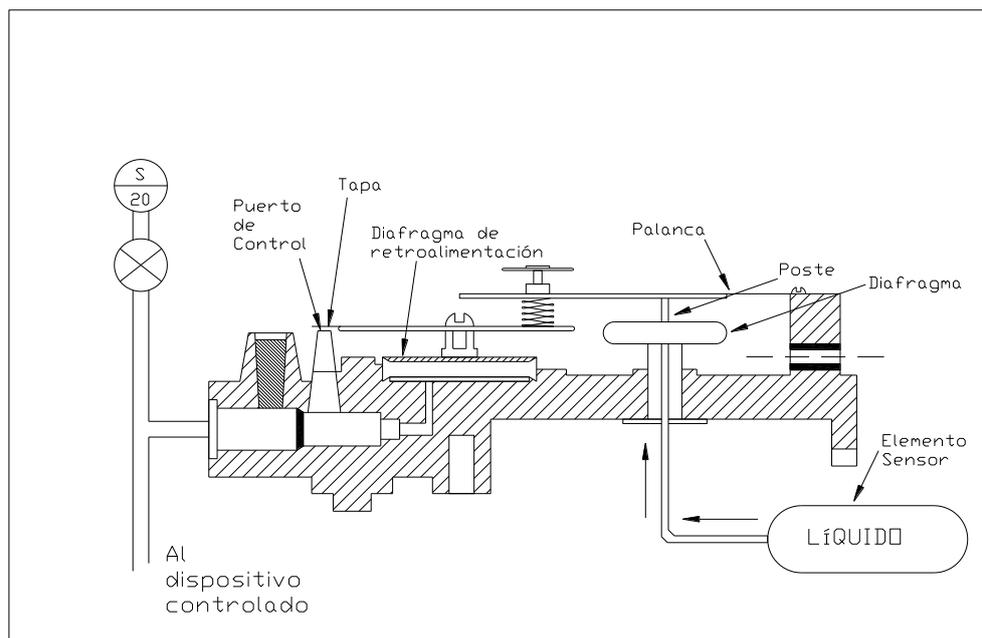


FIGURA 2-5 ESQUEMA DE SISTEMA DE CONTROL NEUMÁTICO DE SANGRADO DE BAJO VOLUMEN

La función de comparación del controlador de sangrado compara la posición del dial establecido (setpoint) con la posición del elemento sensor a través de una conexión mecánica. La conexión mecánica ubica la tapa en relación al puerto de control y convierte la posición en una presión que es transmitida al dispositivo de control.

Adicionalmente al dial para establecer el punto requerido (setpoint), el deslizador de sensibilidad, diafragma de retroalimentación, puerto de control y tapa del controlador de sangrado, el controlador de alto volumen contiene un relay que permite usar presión de suministro directamente para ubicar el dispositivo controlado. El relay está diseñado para usar el aire a través de dos circuitos separados: circuito piloto y amplificador de volumen. El circuito piloto es de volumen pequeño y un flujo de aire reducido el cual es restringido por un orificio arreglado puesto en un valor de 5 a 7 pulgadas de agua de presión y un flujo de aproximadamente 20 plg³/min con el elemento o tapa lejos del puerto de control.

La presión piloto es regulada por la posición del elemento relativa al puerto de control, incrementando al mismo valor de la presión de suministro sin flujo cuando el puerto esta totalmente cerrado. El cambio en la presión piloto es traducida en movimiento del circuito amplificador de volumen; este movimiento regula la gran capacidad de flujo de aire de

suministro a la línea de salida y dispositivo controlado. La función de comparación del controlador de tipo relay es similar que el de sangrado excepto que la posición de la tapa es convertida a una presión neumática a través del circuito piloto figura 2-6.

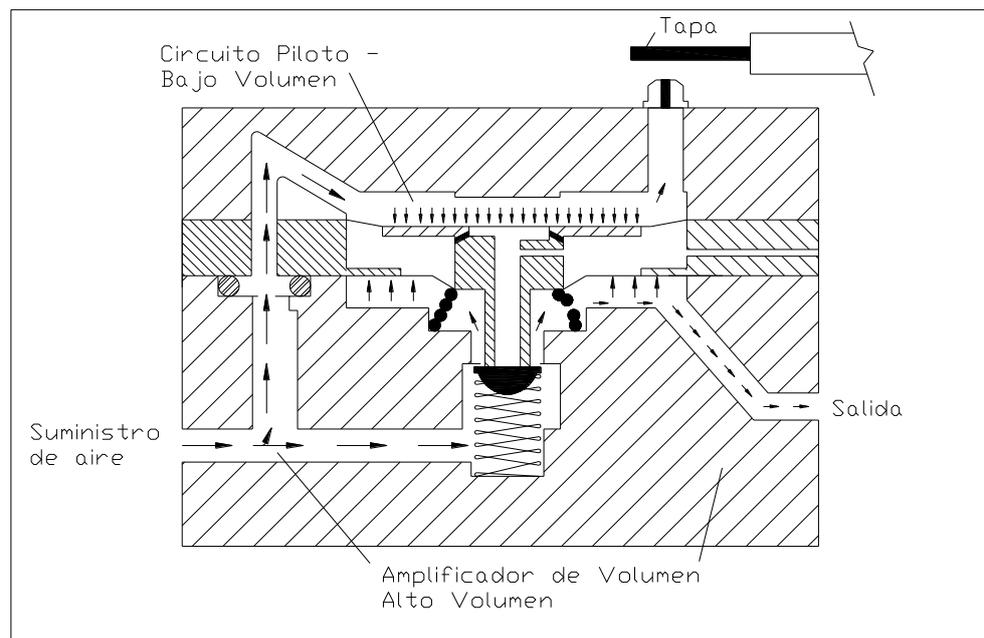


FIGURA 2-6 ESQUEMA DE SISTEMA DE CONTROL NEUMÁTICO DE TIPO RELAY DE ALTO VOLUMEN

El consumo de aire del controlador de tipo relay es menor debido a que la cámara piloto consume menos aire que el puerto de control del controlador de tipo sangrado. El tiempo de respuesta del controlador de tipo sangrado es mucho mayor debido a que el aire de suministro es restringido. Esto es lo más notable en aplicaciones que tienen largas

líneas de aire o grandes actuadores que requieren grandes volúmenes de aire.

Sistemas de control Digitales Directos

En los controles digitales directos (direct digital control) así como en los controles eléctricos o neumáticos, una señal de entrada a un controlador resulta en una salida a un dispositivo apropiado.

Los sistemas digitales directos son electrónicos y usan circuitos electrónicos y dispositivos para monitorear y controlar, la mayor diferencia es en el controlador: en lugar del ajuste físico a los componentes del controlador para obtener la misma reacción una y otra vez, los controladores del sistema DDC contienen microprocesadores que están programados para interpretar la señal de entrada, procesar la información en programas residentes e inteligentemente decidir en la respuesta apropiada.

Estos sistemas tienen todas las características de los controles neumáticos y electrónicos y pueden, adicionalmente, anticipar las necesidades basados en tendencias grabadas de la operación previa del equipo.

2.2 Selección del Sistema de Control

Sistemas de control tradicionales

Los sistemas de control tradicionales: neumáticos, eléctricos y electrónicos son utilizados en muchas de nuestras industrias desde hace muchos años, habiendo mayor preferencia hasta ahora por los sistemas neumáticos en las industrias más grandes debido a que se puede proveer de grandes fuerzas a un menor costo comparado con los actuadores eléctricos.

Las ventajas de dichos sistemas de control, por ser tradicionales, son que disponen de repuestos, precios competitivos y suficiente asesoramiento técnico. Sin embargo estos sistemas necesitan ajustes rutinarios seguidos para su correcto funcionamiento; tampoco se puede centralizar el control de toda la instalación lo que implica realizar inspecciones seguidas de todo el sistema aumentando los costos de mantenimiento preventivo y correctivo.

Sistemas directos digitales

Los sistemas de control directos digitales hace 12 años eran un lujo para propietarios y gerentes de edificios, en la actualidad con el mayor uso de dichos sistemas en el mercado estos son muy competitivos comparados con los sistemas de control tradicionales como los eléctricos o

neumáticos. Varias de las ventajas de usar controles directos digitales son:

- ◆ **Control y monitoreo centralizado:** un operador puede monitorear los sistemas de acondicionamiento de aire desde un solo lugar con ayuda de una PC la misma que tiene un software que le permite interactuar con el sistema o muchos sistemas en tiempo real, esta le puede proveer de una imagen sobre lo que está pasando en el edificio y además permite cambiar la operación central del sistema (como abrir y cerrar válvulas, prender o apagar ventiladores, cambiar valores preestablecidos por mencionar algunos de ellos) desde el mismo lugar, optimizando el uso del tiempo para mantenimiento. Además el interfase es fácil y no necesita de personal muy calificado para su manejo.
- ◆ **Manejo de alarmas:** los sistemas de control digitales conectados entre sí pueden comunicar condiciones de alarma a una central o a algún lugar remoto. Este manejo de alarmas puede ayudar a los operadores a asistir la situación y tomar las acciones pertinentes.
- ◆ **Monitoreo del historial de eventos y tendencias:** ya que los sistemas de control digitales son computadoras, éstos permiten el manejo de datos y estimar tendencias. Esta última muy importante pues permite conocer el comportamiento que puede tener un área crítica en una hora, un día o un año entero o más. Esta información

puede ser temperatura, presión, humedad, tiempo de operación del sistema o cualquier otro dato que el sistema de control digital monitoree o controle. Toda esta información puede ser almacenada en una central de información para una recuperación posterior.

- ◆ **Manejo energético:** los sistemas digitales son electrónicos y usan circuitos electrónicos y dispositivos para monitorear y controlar. Conforme avanza la tecnología se desarrollan mejores mediciones con sensores y dispositivos de control. Un sensor neumático tiene un error de $\pm 2^{\circ}\text{F}$, mientras que uno digital tiene $\pm 0.3^{\circ}\text{F}$.
- ◆ **Menores costos:** el avance en la electrónica provee mejores dispositivos a menores costos, hace 12 años estos eran grandes y costosos, únicamente eran rentables en grandes edificaciones, ahora son rentables hasta en edificaciones pequeñas. En la actualidad un controlador digital puede ser 10% del tamaño y 20% del costo, cuestan igual o menos que un controlador analógico, por ejemplo, un controlador digital hace 12 años costaba entre \$3000 y \$8000 sólo el controlador, ahora se los puede encontrar entre \$1000 y \$3000.
- ◆ **Flexibilidad:** estos sistemas de control pueden ser instalados por fases sin afectar el funcionamiento, permitiendo que el sistema se adapte a los cambios en la edificación conforme pase el tiempo.

Debido a las características de los sistemas de control directo digital y a su desarrollo conforme pasa el tiempo, ésta es la mejor opción para controlar eficientemente y de manera eficaz un sistema de acondicionamiento de aire, su flexibilidad permite que en un futuro dicha unidad ginecológica pueda establecer un nexo con las demás unidades, permitiendo así un control más centralizado lo que conlleva una disminución en los costos operativos. Así mismo, la capacidad de interpretar la operación normal del sistema ayuda de igual forma a que se tomen medidas de ahorro para disminuir el consumo eléctrico.

CAPÍTULO 3

3. DESCRIPCIÓN DE SISTEMA DE CONTROL EN UNIDAD GINECOLÓGICA DEL HOSPITAL UNIVERSITARIO

Para describir el sistema de control de la unidad ginecológica, primero se indican algunas premisas del sistema de acondicionamiento de aire a controlar.

1. Para la climatización de un hospital de tal magnitud se utilizará como sistema principal de climatización un sistema de distribución de agua helada.
2. Los enfriadores utilizan compresores de tornillo
3. La zonificación del hospital sigue los siguientes criterios:
 - ◆ Usar unidades independientes para evitar la mezcla de aire entre ambientes de diferente uso.

- ◆ Para el hall del comedor, y morgue se utilizarán unidades de expansión directa del tipo consola piso-techo.
 - ◆ Para estación de enfermeras-ecografía, oficina chef, despacho bodega y laboratorio hematología y microbiología se utilizarán unidades de agua helada tipo Ventilador Serpentin (fan coil) instaladas en el tumbado falso.
 - ◆ Para las demás zonas se utilizarán unidades centrales de manejo de aire con serpentines de agua helada.
4. Los valores mínimos de renovación y circulación de aire para todas las zonas acondicionadas por unidades centrales de manejo de aire han sido basados en las normas establecidas por la “American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.” (ASHRAE).
5. Las zonas en el que se ha puesto especial énfasis en el diseño del acondicionamiento de aire son:
- ◆ Cuneros
 - ◆ Niños infectados
 - ◆ Niños intermedios
 - ◆ Terapia intensiva madres
 - ◆ Riesgo obstétrico
 - ◆ Salas de parto
 - ◆ Quirófanos

Para todas éstas áreas se utiliza filtración estricta de aire y flujos relativos entre cuartos de acuerdo a las exigencias de cada caso.

6. En algunas áreas se utiliza recalentamiento de aire de tipo eléctrico para mantener una humedad relativa y temperatura constantes según se haya establecido.

7. Las condiciones exteriores de diseño escogidas para la ciudad de Guayaquil son:

- ◆ Temperatura de bulbo seco: 92°F
- ◆ Temperatura de bulbo húmedo: 80°F

8. Las condiciones interiores de diseño consideradas son:

- ◆ Temperatura de bulbo seco: 75°F
- ◆ Humedad relativa: 50% ±5%
- ◆ Criterio de ruido máximo: 30 – 35 NC
- ◆ Nivel de filtrado: Desde lavables hasta 95% Ef.
- ◆ Renovación de aire: Norma ASHRAE 62-1981

9. Los niveles de sonido en las zonas acondicionadas no debe exceder los siguientes valores:

- ◆ Cuartos privados, Aulas: NC – 30
- ◆ Auditorios, Salas de conferencia: NC – 30
- ◆ Corredores y Salas de espera: NC – 30
- ◆ Otras zonas: NC – 30

10. El sistema de control consta de los siguientes equipos:

- ◆ Dos unidades de enfriamiento de agua de 185 TR a plena carga con compresores de tornillo conectados en serie
- ◆ Dos torres de enfriamiento de tiro inducido
- ◆ Un sistema de tratamiento de agua
- ◆ Dos bombas de agua helada
- ◆ Tres bombas de agua de enfriamiento
- ◆ Un tanque de expansión
- ◆ Dos filtros separadores de aire
- ◆ Treinta y seis (36) unidades manejadoras de aire de tiro directo, de tipo horizontal y vertical. Sólo una de ellas tiene variador de frecuencia que permitirá reducir la velocidad del ventilador de acuerdo al requerimiento del sistema de control de flujo variable
- ◆ Cuatro unidades ventilador serpentín tipo horizontal de tumbado
- ◆ Extractores de aire con rejilla incorporada
- ◆ Extractores de tipo centrífugo en línea
- ◆ Extractores de techo tipo hongo
- ◆ Extractores para campanas de cocina
- ◆ Ventiladores de suministro de techo
- ◆ Cinco cajas de volumen variable
- ◆ Serpentes de recalentamiento eléctrico
- ◆ Filtros de aire de varias eficiencias según área acondicionada

Habiendo conocido los criterios de diseño y componentes del sistema de acondicionamiento de aire a controlar, se procede a describir los componentes, la programación y la arquitectura del sistema de control.

3.1 Componentes del Sistema

Los componentes básicos de todo sistema de control son: sensor, controlador y actuador. El sensor mide la variable controlada o monitoreada y manda una señal al controlador para su procesamiento y toma de decisiones. El controlador determina si la señal debe ir a la estación de monitoreo o al actuador, así también, determina si la señal de entrada o salida es de dos posiciones, proporcional, de actuación directa o inversa. El actuador manipula el equipo para obtener el valor determinado (setpoint) de la variable controlada.

Cuando se adicionan las letras “stato” se indica que el dispositivo además de ser sensor es controlador.

Hay diferentes tipos de señales:

- ◆ Las señales de entrada de dos posiciones son utilizadas para indicar el estatus en que se encuentra el equipo: como prendido o apagado, normal o alarma, abierto o cerrado.

- ◆ Las señales de salida de dos posiciones son utilizadas para arrancar o parar, abrir o cerrar el equipo controlado.
- ◆ Las señales proporcionales son usadas para monitorear variables que cambian continuamente como temperatura, presión, flujo. Estas señales proveen de múltiples niveles de control y alarma con el uso de sensores o actuadores sencillos.

SENSORES DE CONTROL

Termostato

Este dispositivo sensa y responde a la temperatura, éste puede ser diseñado sólo para calefacción o acondicionamiento de aire, o para calefacción y acondicionamiento de aire en combinación, para lugares donde se diferencian las cuatro estaciones.

El sensor de temperatura a utilizarse en la unidad Ginecológica del Hospital Universitario es un termistor electrónico el mismo que tiene una buena sensibilidad (mayores cambios de resistencia con pequeños cambios de temperatura), excelente precisión, buenas características dinámicas además de ser un sensor económico (ésta es la ventaja que tiene comparado con los sensores de temperatura RTD); además, sus altas resistencias (comúnmente 10 K Ω) permiten una conexión directa a

los sistemas DDC lo que implica el no uso de dispositivos adicionales, sus características técnicas son:

- ◆ Resistencia del termistor de 10 000 ohmios
- ◆ Entre 32 a 158⁰F (0 a 70⁰C)
Error máximo $\pm 0.36^{\circ}\text{F}$ (0.2°C)
Máximo aumento de error anual 0.045°F (0.025°C)
- ◆ Sobre los límites de temperatura operativos
Error máximo $\pm 0.76^{\circ}\text{F}$ (0.42°C)
Máximo aumento de error anual 0.09°F (0.05°C)

Humedostato

Estos dispositivos sensan y responden a la humedad, ya sea absoluta o relativa. Un sensor espacial de humedad envía una señal al controlador para determinar si la humedad debe ser añadida o retirada del aire de suministro. Para controlar la humedad del espacio se puede aumentar la humedad del flujo de aire adicionando un humidificador o sobre enfriando el aire para remover su humedad y luego recalentando el aire para cumplir con los requerimientos del sensor de temperatura, algunas de las especificaciones de los sensores a utilizarse en la unidad Ginecológica del Hospital Universitario son:

- ◆ Precisión $\pm 1\%$ de 0 a 90% HR
- ◆ Estabilidad $\pm 1\%$ a 20⁰C (68⁰F) anual, por dos años

- ◆ Rango de operación de 0 a 100% HR
- ◆ Existen sensores de humedad que incluyen un termistor para medir temperatura, este modelo será utilizado en varias unidades manejadoras de aire del hospital

Sensor de Presión

Entre los diferentes tipos de sensores de presión, los medidores elásticos de acción indirecta conocidos como sensores de diafragma planos son los más utilizados en los sistemas de control de acondicionamiento de aire.

En el caso de la Unidad Ginecológica del Hospital Universitario, el medidor de presión utiliza un diafragma de silicón, el mismo que tiene las siguientes características:

- ◆ Se caracteriza por ser uno de los sensores de presión más sensibles
- ◆ La resistencia del diafragma de silicón varía conforme éste se deflecta con una diferencia de presión, a éstos materiales se los llama piezoresistivos
- ◆ Estos dispositivos proveen mediciones de presión precisas en todos los rangos de escalas, desde 0.1 pulgadas de agua para uso en sensores de velocidad de aire de tipo pitot o para aplicaciones de control de presión de edificios
- ◆ Límites de temperatura: 32°F a 180°F

- ◆ Ajuste de punto predeterminado (setpoint): tipo tornillo dentro de un conducto
- ◆ Diafragma: caucho de silicona moldeada
- ◆ Peso: 1 libra
- ◆ Rango de operación: 0.4 a 1.6 pulgadas de agua
- ◆ Banda de no operación (dead band) en pulgadas de agua: 0.15 en el mínimo set point y 0.2 en el máximo

Sensor de Flujo

Una de las mayores ventajas de los sistemas directos digitales es la habilidad de balancear el aire de las cajas de volumen variable comparado con otros sistemas de control. Los flujos de aire máximo y mínimo son establecidos en el sistema digital directo y cada caja de volumen de aire variable provee un flujo específico dentro de un rango basado en las condiciones del espacio; la compensación de presión en el ducto es automático con el uso de un variador de frecuencia conectado al motor del ventilador de la unidad manejadora de aire. Para alcanzar estos objetivos, se requiere de un sensor de flujo conectado a cada caja de volumen de aire variable conectado al sistema directo digital.

En la industria del acondicionamiento de aire se utilizan dos tipos de sensor de flujo ambos medidores tipo secundario es decir mide velocidad

el mismo que es multiplicado por un factor (que representa el área del ducto y el perfil de compensación de flujo) para obtener el flujo de aire. El primer sensor de flujo utiliza la velocidad de presión de aire a través de un tubo de pitot y un sensor diferencial de presión, algunos de estos dispositivos actualmente miden la presión de velocidad promedio con una serie de orificios para compensar el perfil de velocidad irregular que ocurre en muchos ductos, su gran limitante es que a bajas velocidades de aire la presión de velocidad es muy pequeña por lo que se recomienda el uso de este tipo de sensor sobre los 300 pies/minuto.

El segundo tipo de sensor determina la velocidad de aire 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: puede medir velocidades de aire tan bajas como 50 pies/minuto además de ser el más económico pues utiliza termistores, 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.

Sensor de corriente

Los sensores de corriente han sido utilizados últimamente para indicar el estado de ventiladores, bombas y otros equipos de poder, existen dos tipos de sensores ambos son transformadores colocados alrededor de uno de los cables de poder del dispositivo a monitorear: el sensor de tipo digital tiene un dispositivo que indica el estado a un nivel de corriente ajustable, el sensor de tipo analógico, tiene un convertidor que provee una señal de voltaje o corriente al sistema digital directo proporcional a la corriente medida, estos dispositivos dan mayor confiabilidad que los switches de flujo o presión debido a que éstos no emplean partes en movimiento.

Entre estos dos sensores, el analógico es preferido ya que provee más información que sólo el estado de la unidad, se puede programar una alarma de baja corriente para indicar según la lectura de corriente si el motor a fallado o una banda se ha roto. Adicionalmente se puede adicionar una alarma de alta corriente al mismo dispositivo para indicar si el sistema está en una condición de sobrecarga.

Otros sensores de control

También existen switches de velocidad los mismos que responden al flujo o presión o de un programa para controlar la velocidad de un equipo y switches de posición los mismos que responden a señales de abierto, cerrado, o dampers de modulación, válvulas, etc.

Actualmente se están utilizando sensores de ocupación para controlar iluminación y acondicionamiento de aire, esto representa un gran ahorro energético pues limita el funcionamiento de los equipos únicamente cuando los ambientes se encuentran ocupados.

Asimismo en los últimos años se está poniendo especial énfasis en el control de la calidad del aire desarrollando sensores de niveles de CO₂ en grandes edificaciones para así calcular la cantidad de aire exterior necesaria. También se están desarrollando estudios para evitar lo que se conoce como “Edificios Enfermos” el mismo que se refiere al crecimiento de microorganismos biológicos dentro de equipos y ductos los mismos que contaminan el aire que circula continuamente en los espacios acondicionados; en la actualidad esto puede evitarse con un plan de mantenimiento completo de equipos y ductos. En los últimos años se ha introducido un sensor de calidad del aire el mismo que monitorea un número de diferentes contaminantes del aire pero este todavía tiene

limitaciones pues no puede ser comparado con un estándar aceptable aunque puede indicar cambios que pueden afectar a los ocupantes de los edificios sin que se note. Suministrar suficiente aire de ventilación es la solución más fácil para el problema de calidad de aire interno, pero aún existen grandes problemas de contaminación de aire por objetos u organismos que no son detectados con un monitoreo de los niveles de CO₂ y que la industria está en proceso de desarrollo.

CONTROLADORES

Los controladores proveen la función de toma de decisiones del sistema de control. Las señales de salida de los controladores típicamente son: de dos posiciones, proporcionales, de acción directa o reversa. Los controladores digitales directos (DDC) pueden ser preprogramados o totalmente programables. Los controladores se diferencian entre sí por su nivel de control:

Controladores de Zona

Los controladores de zona se utilizan para operar unidades terminales o equipos unitarios pequeños. Dependiendo del fabricante, existen controladores preprogramados para manejar equipos de zona específicos como cajas de volumen variable.

Los controladores de zona a usar en la Unidad Ginecológica del Hospital son los siguientes:

- ◆ **MicroNet 2000 VAV Controller.-** Éste es un controlador digital directo con capacidad de comunicación para controlar cajas de volumen de aire variable. Éstos controladores pueden operar tanto independientemente como integrados a un sistema de automatización con el uso de un integrador. El MicroNet 2000 VAV Controller será utilizado en los Consultorios 1 al 4 y el Consultorio de Odontología, áreas que tienen cajas de volumen de aire variable para el control de flujo según la demanda.
- ◆ **MicroNet Integrator.-** Éste controlador provee la comunicación para los controladores de cajas de volumen variable. Envía y recibe información entre el MicroNet Controller directamente al BAS (Building Automation System) por medio de la conexión MicroNet U-Bus. La conexión MicroNet U-Link provee una interfase entre los controladores MicroNet y sus dispositivos controlados o periféricos como los sensores MicroNet.
- ◆ **Microzone** Son controladores diseñados para funciones específicas, pueden ser completamente programables. Para el caso de la Unidad Ginecológica, estos controladores serán usados para controlar unidades manejadoras de aire, unidades ventilador serpentín (fan-

coil), extractores y control unitario de equipo mecánico como sala de máquinas; la figura 3.1 muestra físicamente un controlador de zona microzone.

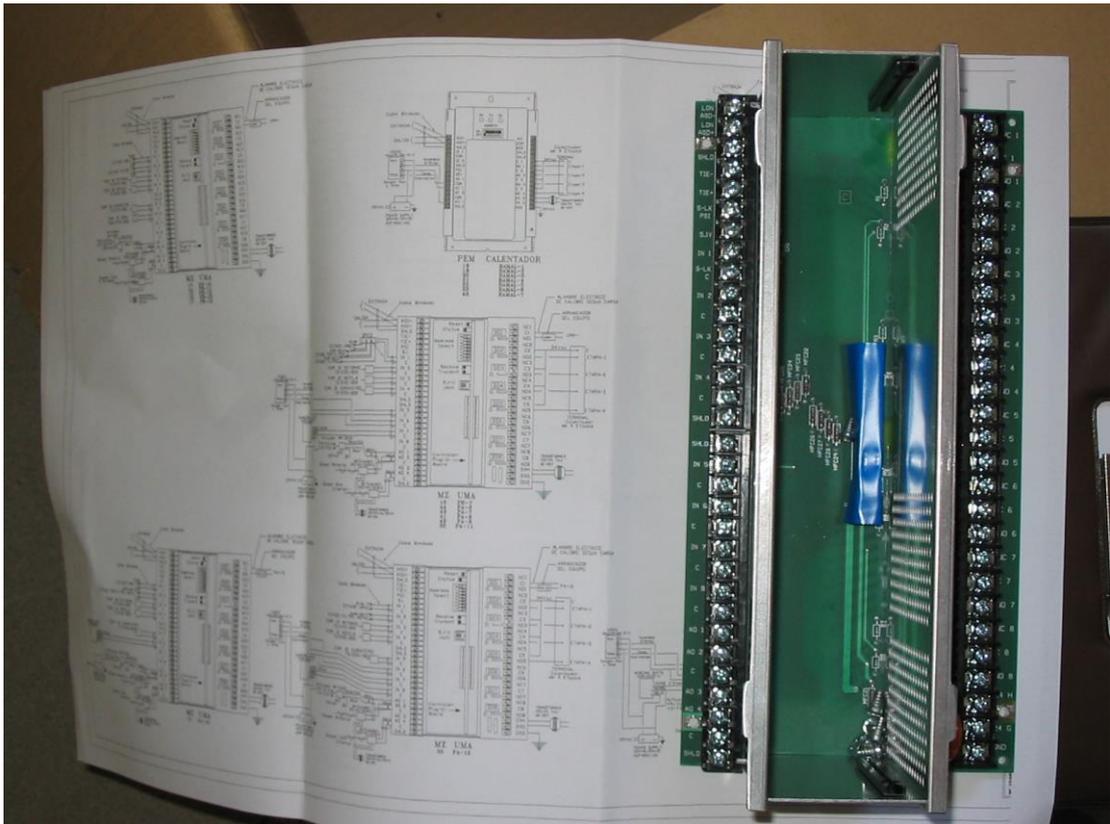


FIGURA 3.1 CONTROLADOR DE ZONA MICROZONE

Por ser un equipo electrónico complejo se deben tomar las siguientes precauciones principales:

- Evitar lugares con humedad excesiva, vapores corrosivos, explosivos o mucha vibración. Su cubierta es para uso solamente en interiores

- Evitar interferencia eléctrica, no instale cerca de largos contactores, maquinaria eléctrica o equipo de soldadura
- Prever espacio entre la cubierta y objetos cercanos para permitir una disipación de calor correcta, el espacio mínimo alrededor de la cubierta debe ser de 2”
- Debe estar ubicado en un lugar que se encuentre entre los -40°C a 60°C y una humedad relativa entre 5 a 95% sin condensación
- ◆ **PEM** Los controladores PEM (Packaged Equipment Module) al igual que los Microzone están diseñados para funciones específicas. Para el caso de la Unidad Ginecológica, se utilizarán controladores PEM en cada zona que requiere recalentadores.

Controladores de Sistema

Estos controladores típicamente vienen sin programación debido a que cada sistema es único, difieren de los controladores de zona por su capacidad adicional de entradas y salidas; además, las señales de estos controladores usualmente son “universales” lo que conlleva a un sistema completamente flexible para adicionar o modificar entradas y salidas, de aquí la ventaja de los sistemas digitales directos de ser flexibles conforme crece o cambia una edificación con el paso del tiempo.

El controlador de sistema a usar en la Unidad Ginecológica del Hospital es el siguiente:

- ◆ **Global Control Module** El Módulo de Control Global provee el control de unidades manejadoras de aire de zona simple múltiples o individuales, unidades manejadoras de aire de volumen variable, multi-zonas, enfriadoras (chillers), quemadores, y control de manejo energético local. Éste módulo puede generar reportes de excepciones operativas y de control, tendencias, datos de manejo energético y recordatorios de mantenimiento. Un GCM es capaz de tener interfase con hasta 128 puertos de entrada y salida con el uso de GCS's (Global Control Satellite) cada uno de ellos tiene 16 puertos.

Se puede disponer de GCM con un Lenguaje de Control Común (Custom Control Language) el cual permite realizar secuencias de control único, tales como reportes específicos de la instalación a ser programados en el GCM.

El interfase operador controlador GCM es lograda a través de un teclado con monitor opcional en uno de los controladores, o una computadora portátil con interfase a uno de los dos puertos RS-232 en cualquier controlador de la configuración. El acceso del operador es controlada con clave en cada dispositivo.

Este controlador tiene comunicación con todos los controladores de zona antes mencionados; en esta configuración, la información en un dispositivo puede ser compartido con otros dispositivos en el cable común a través del controlador madre. Los reportes pueden ser enviados a cualquier puerto de la configuración.

- ◆ **Grafical User Interface (GUI)** Éste interfase gráfico del usuario es básicamente una computadora a donde se va a conectar el GCM para proveer la herramienta de manejo centralizado del sistema. Éste controlador dispone de gráficas dinámicas a color, monitoreo de alarma en tiempo real, manejo de mantenimiento, configuración del sistema, almacenamiento de información y funciones de manejo de reportes. Un GUI puede ser configurado por varias vías dependiendo de la instalación, esta configuración incluye impresoras, plotters, sistemas de almacenamiento (backup), y modems. Los modems son usados cuando parte del sistema está localizado a distancias muy lejanas de conectar directamente. Los reportes pueden ser enviados a cualquier puerto de la configuración. El interfase GUI – operador es controlado con clave.

Los sistemas grandes pueden ser expandidos con la adición de un GUI el cual provee un sistema de control automatizado para edificios completamente integrado y un sistema de manejo energético.

El sistema puede usar cable blindado y repetidoras de fibra óptica para incrementar las distancias y/o el número de dispositivos en las conexiones, el GUI puede ser integrado con sistemas subordinados para ejecutar estrategias de control complejas. Estas estrategias incluyen Manejo Energético, Sistema Contra Incendios, Seguridad, Accesos, Monitoreo Central y Reportes.

ACTUADORES

Los actuadores proveen el control físico del equipo, típicamente son dampers y válvulas. El movimiento del actuador puede ser de dos posiciones o proporcional en respuesta del equipo controlado.

Los actuadores pueden ser normalmente abiertos o normalmente cerrados, los actuadores normalmente abiertos regresan a la posición “abierto” si la señal de control está apagada y los actuadores normalmente cerrados a la posición “cerrado”.

◆ **Válvulas de control**

Las válvulas de control son utilizadas para controlar el flujo de fluidos, ésta puede ser de acción directa o inversa. La de acción directa permite el flujo con el actuador arriba, en cambio la de acción inversa restringe el flujo en dicha posición. La combinación del cuerpo de la válvula y el actuador determina la posición de la válvula.

La válvula de dos vías es una válvula con un puerto de entrada y uno de salida; en cambio, una válvula de tres vías puede tener dos entradas y un puerto de salida o una entrada y dos salidas como es el caso de las válvulas de control de fluido de agua en las manejadoras y ventiladores-serpentin (fan-coil) en la Unidad Ginecológica del Hospital Universitario.

◆ **Damper de Compuerta**

Así como hay reguladores de flujo de agua existen reguladores de flujo de aire llamados dampers (reguladores) los mismos que miden la cantidad de flujo de aire exterior, de retorno, alivio de presiones, mezcla de aire, cierre de flujo de aire en caso de incendio, etc.. Éstos varían su posición con ayuda de un actuador. La figura 3.2 muestra un damper de retorno de una unidad manejadora de aire de la Unidad Ginecológica del Hospital Universitario.



FIGURA 3.2 DAMPER DE AIRE DE RETORNO

3.2 Programación por Sistema de Bloques

La programación es el proceso de crear una secuencia de instrucciones para una computadora, en este caso la computadora es el controlador de sistema GCM (Global Control Module).

El sistema de programación por bloques tiene una característica especial que lo hace muy práctico, no es necesario para el programador conocer la operación interior exacta del controlador, sin embargo, es necesario saber las limitaciones del controlador, cómo controlarlo y las reglas que

conciernen su uso. De manera más específica el programador debe saber:

1. Cómo ordenar una secuencia de instrucciones en un algoritmo lógico de control, lo que suele llamarse una secuencia de eventos de control
2. Cómo agregar los datos necesarios al controlador
3. Cómo asegurar que la secuencia de instrucciones provea los resultados apropiados (las salidas)

La parte medular de la programación es saber cómo descomponer una tarea para cada dispositivo de control, ordenar estas partes en un patrón lógico y luego permitir a la computadora dentro del controlador que ejecute estas partes como un algoritmo de control completo o secuencia de instrucciones.

Cada algoritmo de control tiene:

1. Información. Que es adquirida a través de la entrada
2. Sobre qué se actúa. La operación se realiza sobre esa información
3. Producir resultados. El resultado de la operación es la salida

Éstas son las tres partes de un programa: entrada, operación y salida.

Los algoritmos necesarios para controlar un equipo típico de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire y realizar un control de manejo energético son un conjunto de aplicaciones estándar: Control de Termostato, Control de Aire Mezclado, Control de Descarga con Reajuste

de Retorno, Horario de Prendido y Apagado, Limitación de Demanda Eléctrica, Arranque y Parada Óptima, etc. Algunas de estas rutinas se repiten una y otra vez: Lazo de control, Generación de Alarmas, Horarios Diarios, Horarios en Feriados, etc.

Es necesario diseñar y anotar un conjunto de instrucciones para el controlador, para ejecutar cada una de estas operaciones. Luego estas rutinas necesitan ser chequeadas y probadas operativamente para la aplicación para la que fueron ejecutadas; a éstas rutinas se las pueden dar un nombre y luego completadas en la memoria del controlador para un uso futuro. Luego, si una función similar es necesaria para ser ejecutada, una copia de una rutina probada puede ser hecha y modificada ligeramente para ejecutar la nueva operación.

Los programas dentro del controlador NETWORK 8000 son una colección de dichas rutinas pre-probadas las cuales ejecutan el control estándar de calefacción, ventilación, acondicionamiento de aire, manejo energético y manejo de instalaciones y reporte de rutinas. También hay bloques que pueden ser usados para hacer interfase (entrada y salida) de información desde sensores, switches, relays, actuadores, etc., con las funciones de control de los controladores.

Cada controlador NETWORK 8000 contiene una librería de bloques estándar, los mismos que pueden ser copiados y a los que se les puede dar un nombre único para cada aplicación para el que son ejecutados. Cuando se hace una copia de un bloque y se lo nombra, ciertos atributos (información que se puede modificar) dentro de este bloque pueden ser editados para que ejecute su algoritmo correctamente para su único propósito. Las entradas del nuevo bloque creado pueden ser asignadas, los parámetros (atributos establecidos) del bloque pueden ser establecidos, la definición dada a estos parámetros modifican la operación específica del bloque para cada aplicación, figura 3.3.

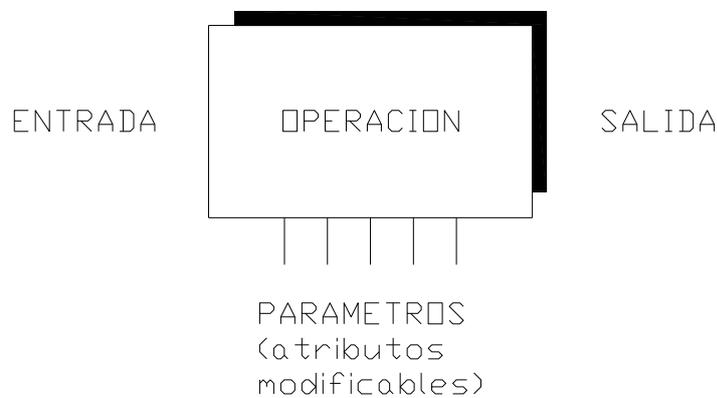


FIGURA 3.3 DISEÑO DE BLOQUE ESTÁNDAR

Cada controlador NETWORK 8000 tiene un grupo completo de bloques almacenados en su memoria. El programador puede crear secuencias de control haciendo copias de trabajo de estos bloques y enlazándolos juntos de tal forma que se puede realizar el algoritmo de control específico.

La interconexión lógica de estos bloques proveen las aplicaciones únicas de manejo energético y control; cambiando las interconexiones de estos bloques o adicionando nuevos bloques al programa de aplicación, el programador es capaz de modificar los algoritmos del sistema de control.

Para situaciones que no pueden ejecutarse usando los bloques estándares disponibles, un bloque CCL puede ser creado. Estos programas pueden ser escritos usando el lenguaje de control común (Custom Control Language) y podría ser usada en conjunto con otros bloques, permitiendo un método fácil de interfase entre las rutinas CCL con los algoritmos de control.

DESCRIPCIÓN BÁSICA DE UN BLOQUE

Cada bloque está diseñado para ejecutar una función particular, por lo tanto cada bloque es diferente; sin embargo, la información que cada bloque adquiere a través de sus entradas trabaja con su definición de función (establecida por los parámetros), y presenta una salida. Todo esto

debe estar en estándares comunes para que la información pueda ser compartida y usada por otros bloques.

Cada bloque está formado por cuatro secciones básicas: tipo de bloque, parámetros, entradas y salidas.

Tipo de bloque

El tipo de bloque describe su función, por ejemplo:

- ◆ El bloque AI ejecuta monitoreo y funciones de conversión de entradas analógicas
- ◆ El bloque LOOP ejecuta funciones analógicas de control que requieren acciones de control proporcionales, proporcionales integrales o proporcionales integrales derivativas
- ◆ El bloque ALARM monitorea un valor analógico y, si el valor excede el límite, el bloque indica y alerta al usuario por medio de un número de mensajes predeterminados, técnicas de rutina.
- ◆ El bloque WEEK pone funciones de control, cargas, etc., prendidas o apagadas, basadas en un horario definido sobre el tiempo semanal.

Cada bloque tiene atributos, estos atributos indican las entradas, parámetros y salidas del bloque. Algunos de estos atributos pueden ser vistos y/o cambiados en el editor de bloques. La operación del bloque es determinada por estos parámetros, entradas y salidas.

Parámetros

Los parámetros definen la función de un bloque, éstos requieren valores ajustados como números, cadena de caracteres, selección de funciones, elegir un estado de salida para cierto cálculo, etc. Los valores de los parámetros no cambian dinámicamente con la operación del sistema pero pueden ser cambiados por un usuario mediante un editor de bloque. Éstos son raramente cambiados durante la vida del bloque.

Los parámetros son usados para seleccionar características (como seleccionar reponer valor predeterminado –setpoint-), definir cantidad de atributos (como cantidad de entradas), seleccionar ajustes (lineal, rotativo, binario) y mensajes (mensaje de alarma = FAN #3 no hay flujo).

Entradas

Una entrada puede ser un valor o un puntero (dirección de la ubicación del dato) de la salida de otro bloque. Los valores de entrada pueden ser números o estados digitales como hayan sido definidos por el tipo de entrada. El concepto del puntero es una poderosa herramienta, las entradas de un bloque pueden ser punteros del valor de salida de otro bloque, éstas deben ser del mismo tipo (analógica a analógica y digital a digital). Esto permite que los bloques estén interconectados., las entradas

pueden ser punteros únicamente de las salidas de otro bloque no de otras entradas o parámetros.

Salidas

Una salida provee el resultado del cálculo de un bloque, un bloque puede tener más de una salida, todas las salidas de un bloque son actualizadas a valores corrientes a la frecuencia definida en el parámetro de actualización (UPDATE TIME) y tiempo de ejecución requerida por el bloque. Los valores de salidas de un bloque pueden ser valores analógicos o digitales, otras salidas pueden ser banderas de control indicando diagnóstico de errores en el cálculo dentro del algoritmo o que una tendencia está completa, etc.

Un valor de salida puede ser un número, un estado digital, un sello de tiempo, o un grupo de caracteres, dichos mensajes de salida pueden ser direccionados a un grupo de impresión. La mayoría de las salidas son mostradas con las unidades de ingeniería asignadas para las salidas del bloque, o está predeterminada por la función del bloque; por ejemplo, el valor corriente de un bloque LOOP siempre es en porcentaje (%), las banderas pueden ser ON o OFF (prendido apagado), etc.

Cuando la edición está completa y los cambios han sido guardados se ha creado una operación funcional dentro del controlador. Así se pueden crear bloques adicionales con sus entradas punteadas a las salidas de otros bloques de tal forma que tales cadenas operativas pueden ser cumplidas.

3.3 Arquitectura del Sistema de Control

Se conoce como arquitectura al sistema jerárquico con el cual se va a controlar el sistema central de acondicionamiento de aire y ventilación, indicando qué controladores de zona van a controlar qué equipo o equipos y a la vez indicando qué controladores de sistema van a controlar los controladores de zona.

Los siguientes controladores monitorearán y controlarán las siguientes áreas de la Unidad Ginecológica del Hospital Universitario, tabla 3.1

TABLA 3- 1

**ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL CENTRAL DE LA
UNIDAD GINECOLÓGICA DEL HOSPITAL UNIVERSITARIO**

CONTROLADOR	DESIGNACIÓN	LUGAR CONTROLADO
Mz. 1	Sala de Mq. 1	Bombas de Agua Helada 1, Bombas de Agua Helada 2, Enfriador 1, Enfriador 2.
Mz. 2	Sala de Mq. 2	Bombas de Agua C. 1, Bombas de Agua C. 2, Bombas de Agua C. 3, Torre de Enfriamiento 1, 2.
Mz. 3	Sala de Mq. 3	Transductores de KW: Bombas de Agua Helada 1 y 2, Bombas de Agua C. 1, 2, 3, Torre de Enfriamiento 1 y 2.
	Mn-FLO-1 (Para caja de volumen variable):	Consultorio 1
	Mn-FLO-1:	Consultorio 2
	Mn-FLO-1:	Consultorio 3
	Mn-FLO-1:	Consultorio 4
	Mn-FLO-1:	Consultorio 5

	Integrador MN- ASD1	Integrador de controladores de caja de volumen de aire variable Micronet-Flo (Mn-FLO) a sistema de control central
Mz. 4	UMA-PB-1 FC-PB-4	Consultorios, Consultorio Odontología Oficina Chef, Bodega Diario
Mz. 5	UMA-PB-2	Oficina, Trabajo Social, Información y Recepción
Mz. 6	UMA-PB-3 FC-PB-1	Dirección Secretaria – Espera, Subdirector, Director Técnico, Sala de Reuniones, Estadísticas, Gerente, Contabilidad, Atención a la Comunidad Secretaria, Muestras, Laboratorio Bioquímica, Lab. Hematología, Lab. Microbiología
Mz. 7	UMA-PB-4	Auditorio
Mz. 8	UMA-PB-5	Farmacia, Bodega Farmacia
Mz. 9	UMA-PB-6	Emergencia, Proyecto Canguro, Counter de Información
Mz. 10	UMA-PB-7	Urgencias, Sala de Operaciones

Mz. 11	UMA-PB-8 FC-PB-3	Rayos X, Ecografía, Densitometría, Oficina Rayos X, Conservación, Anatomía Patológica, Mamógrafo, Hall
Mz. 12	UMA-PB-9	Jef. Enfermeras Comunicación
Mz. 13	UMA-PB-10:	Vestíbulo
Mz. 14	UMA-PB-11	Espera General
Mz. 15	UMA-PB-12	Espera General y Hall
Mz. 16	UMA-PB-13	Hall Posterior
Mz. 17	UMA-PB-14 FC-PB-2	Comedor Empleados Ecografía, Enfermeras
PEM-48	Ramal 7	Recepción Neonatos
PEM-18	Ramal 6	Área Gris, Hall Técnico
PEM-19	Ramal 5	Post Parto
PEM-20	Ramal 4	Sala de Labor
PEM-21	Ramal 3	Sala de Parto Alto Riesgo
PEM-22	Ramal 2	Sala de Parto
PEM-23	Ramal 1	Sala de Labor
Mz. 24	VE-PA-18 VE-PA-19 VE-PA-20 VE-PA-21	Baño Cunero Lavabo Niños Infectados Baño Niños Infectados Lavabo Niños Intensivos

	VE-PA-22	Baño Niños Intermedios
	VE-PA-23	Lavabo Niños Intermedios
	VE-PA-18	Lavabo Niños Intermedios
Mz. 25	UMA-PA-2	Habitaciones
Mz. 26	UMA-PA-1	Habitaciones
Mz. 27	UMA-PA-10	Docencia
Mz. 28	UMA-PA-13	Espera, Hall Público
Mz. 29	VE-PA-11	Lavabo Área no Estéril
	VE-PA-12	Campanas Área no Estéril
	VE-PA-13	Jefatura Operación
	VE-PA-14	Baños Bodega Partos
	VE-PA-15	Baños Vestidores Hombres
	VE-PA-16	Baños Sala de Labor
	VE-PA-17	Baños Vestidores Mujeres
Mz. 30	UMA-PA-14	Habitaciones
Mz. 31	UMA-PA-15	Ramales 1-7
Mz. 32	UMA-PA-11	Riesgo Obstétrico
Mz. 33	UMA-PA-12	Área no Estéril, Depósito Material
Mz. 34	UMA-PA-19	Quirófano
Mz. 35	UMA-PA-22	Pre operación, Área Blanca
Mz. 36	UMA-PA-18	Quirófano
Mz. 37	UMA-PA-17	Quirófano

Mz. 38	UMA-PA-16	Quirófano
	VE-PA-8	Baño Área Gris
	VE-PA-9	Hall entre Quirófanos
Mz. 39	UMA-PA-20	Post. Operatorio
	VE-PA-5	Utilería Post. Operatorio
Mz. 40	UMA-PA-21	Área Gris
Mz. 41	UMA-PA-8	Niños Intermedios, Intensivos
Mz. 42	UMA-PA-9	Terapia Intensiva Madres
Mz. 43	UMA-PA-7	Niños Infectados
Mz. 44	UMA-PA-6	Cunero, Lactario, Banco de Leche
	VE-PA-6	Área Blanca
	VE-PA-7	Baños Riesgo Obstétrico
	VE-PA-26	
Mz. 45	UMA-PA-5:	Área de Reserva
Mz. 46	UMA-PA-4	Habitaciones
Mz. 47	UMA-PA-3	Habitaciones
GCM		Controlador de sistema
GUI		Controlador de sistema

Éstos controladores forman la siguiente Arquitectura del Sistema de Control de la Unidad Ginecológica del Hospital Universitario, figura 3.4

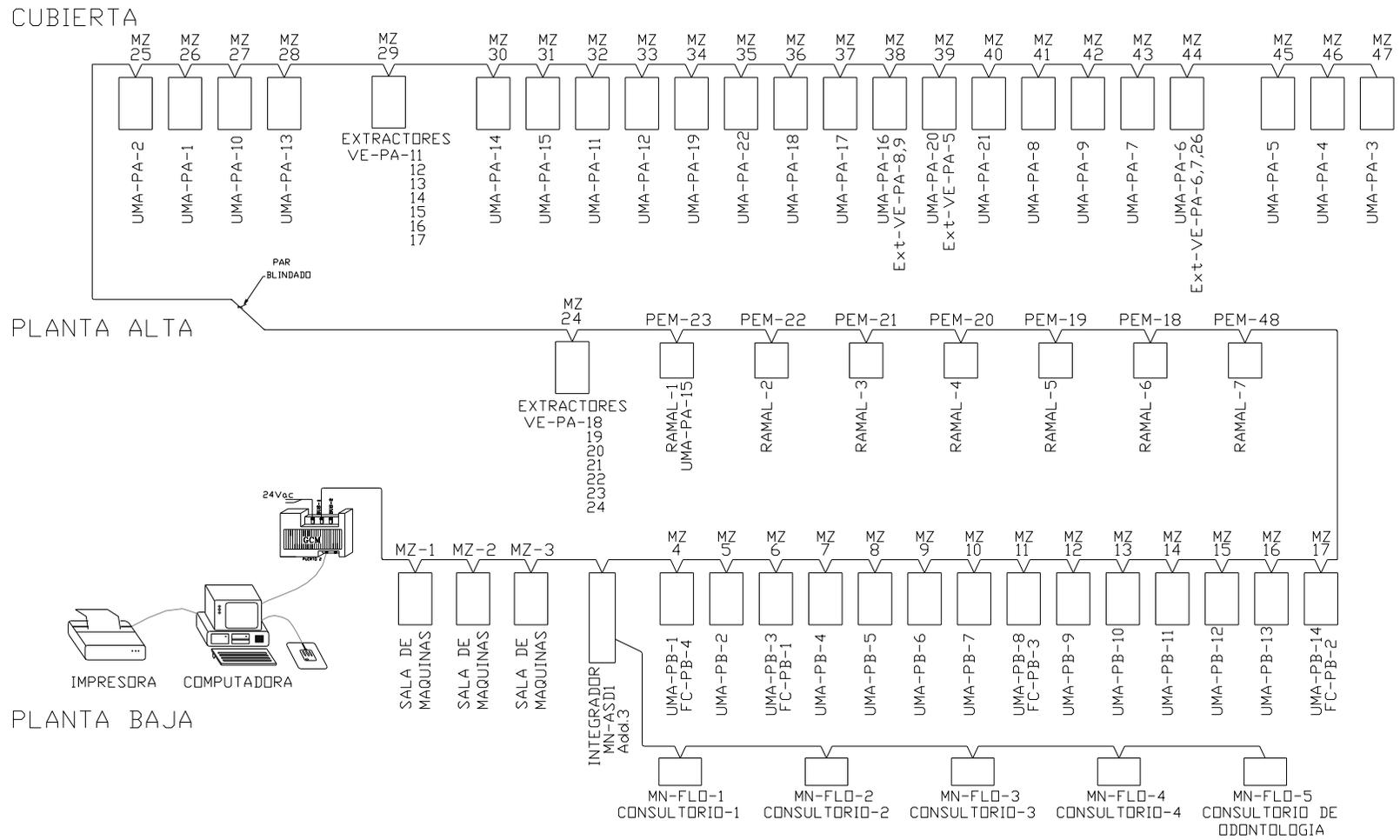


FIGURA 3.4 ARQUITECTURA DE SISTEMA DE CONTROL DE UN. GIN. DEL HOSPITAL UNIVERSITARIO

CAPÍTULO 4

4. 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.

4.1 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.

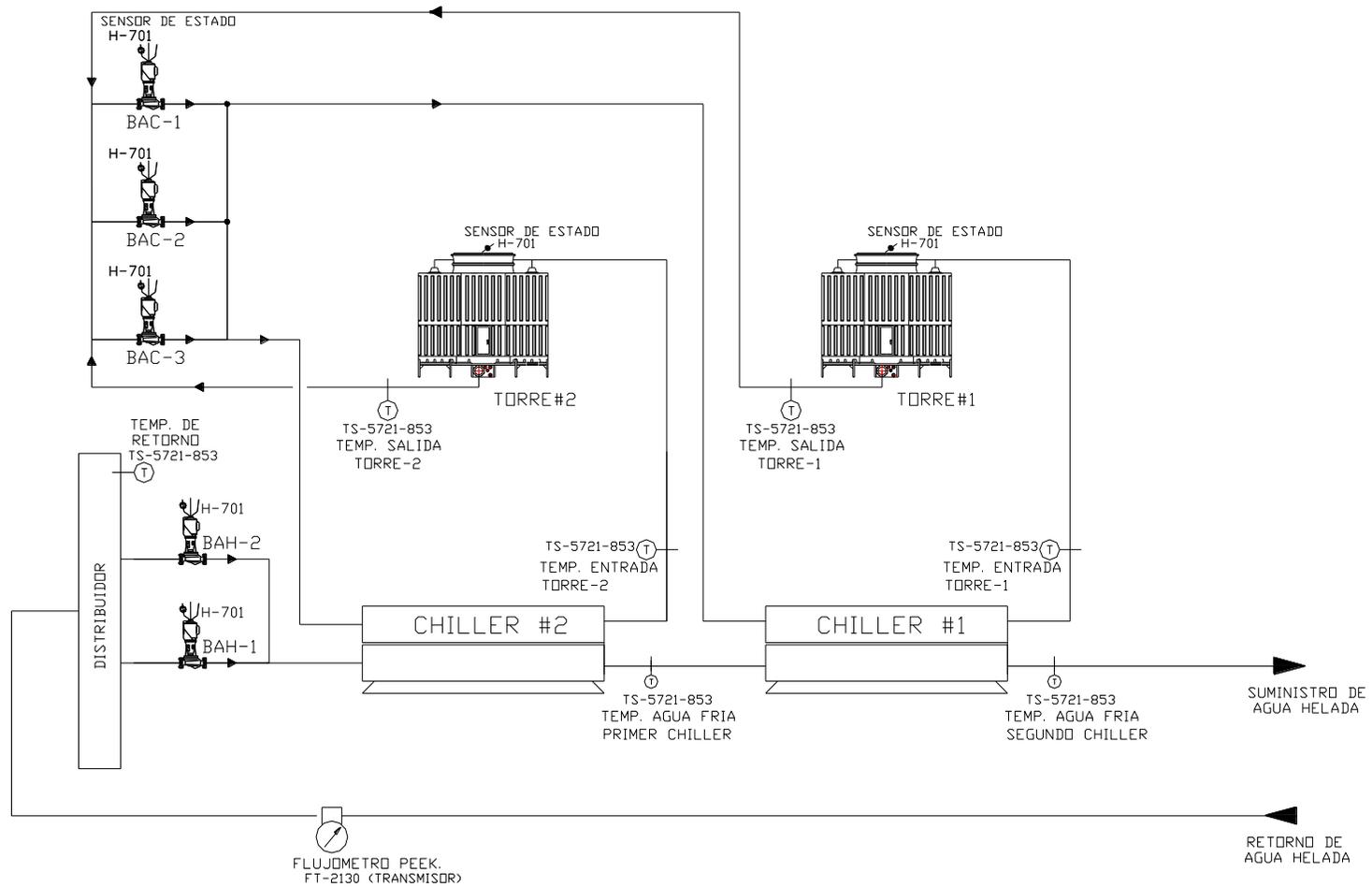


FIGURA 4.1 ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE SISTEMA DE AGUA HELADA Y DE ENFRIAMIENTO

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:

4.1.1 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-134^a. 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 56°F 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 46°F 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.

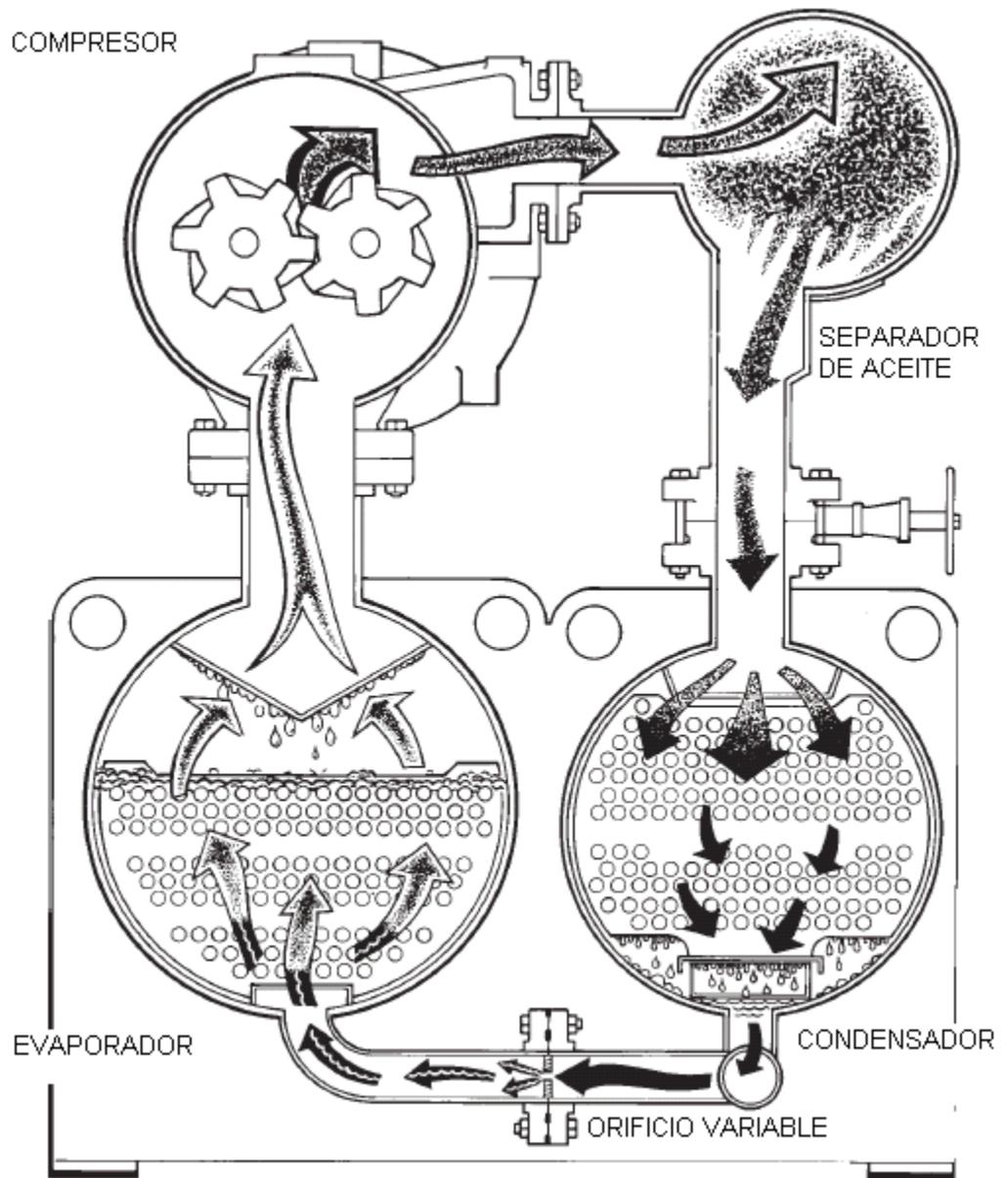


FIGURA 4.2 VISTA DE CORTE DE ENFRIADOR

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.

4.1.2 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.

4.1.3 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.

4.1.4 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.

4.2 Aire

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

4.2.1 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.

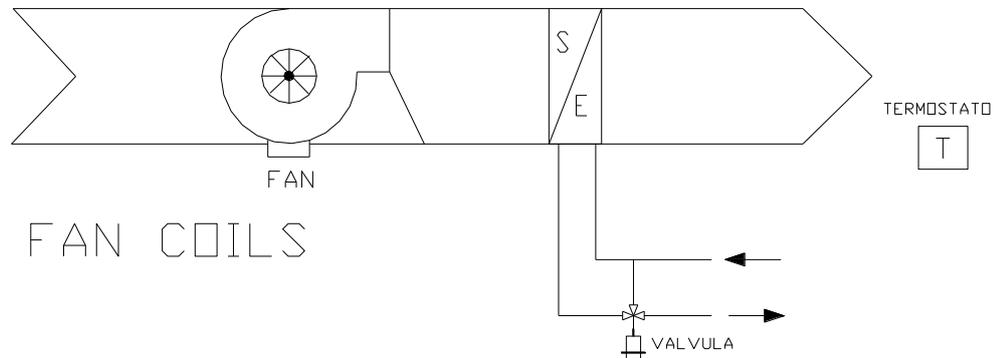


FIGURA 4.3 ESQUEMA DE CONTROL DE UNIDAD VENTILADOR SERPENTÍN (FAN COIL)

- ◆ 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.

4.2.2 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.

4.2.2.1 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

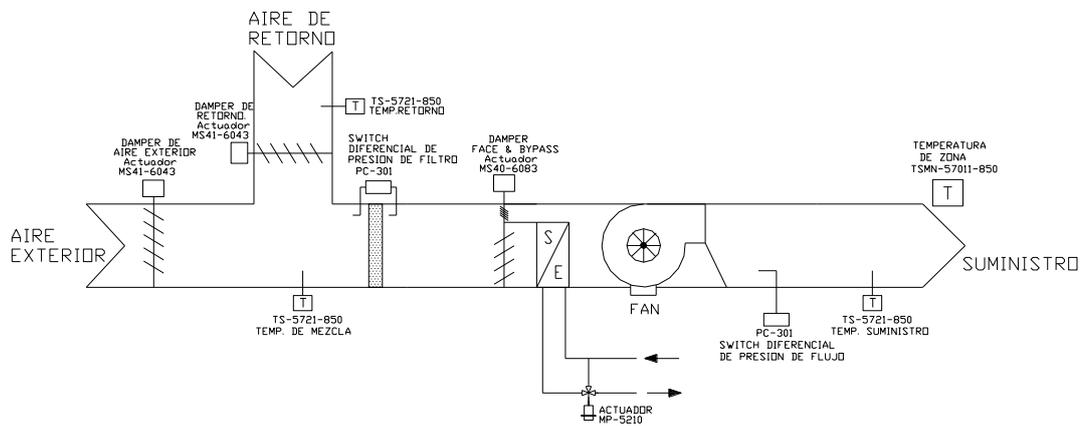


FIGURA 4.4 ESQUEMA DE CONTROL DE UNIDAD MANEJADORA DE AIRE DE VOLUMEN CONSTANTE SIN RECALENTADOR

- ◆ 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.

4.2.2.2 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

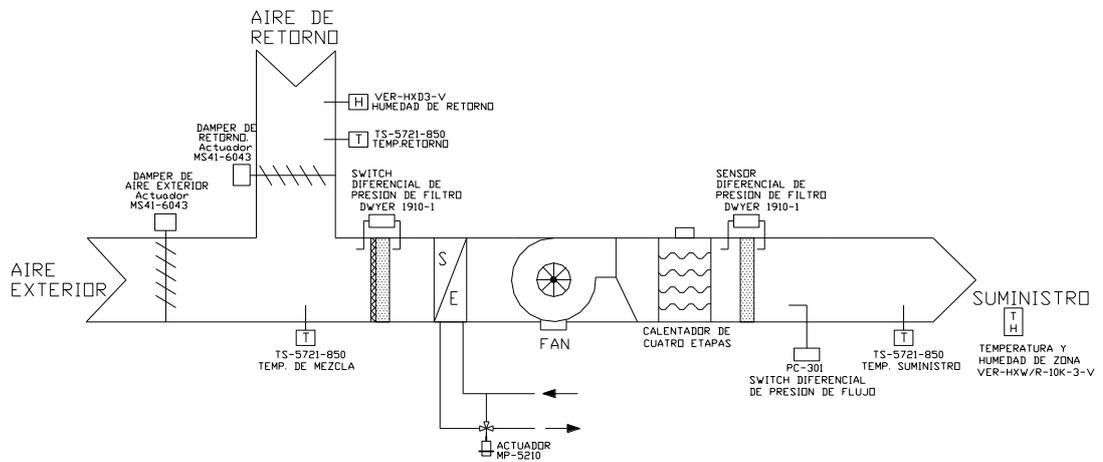


FIGURA 4.5 ESQUEMA DE CONTROL DE UNIDAD MANEJADORA DE AIRE DE VOLUMEN CONSTANTE CON RECALENTADOR

- ◆ 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.

4.2.3 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

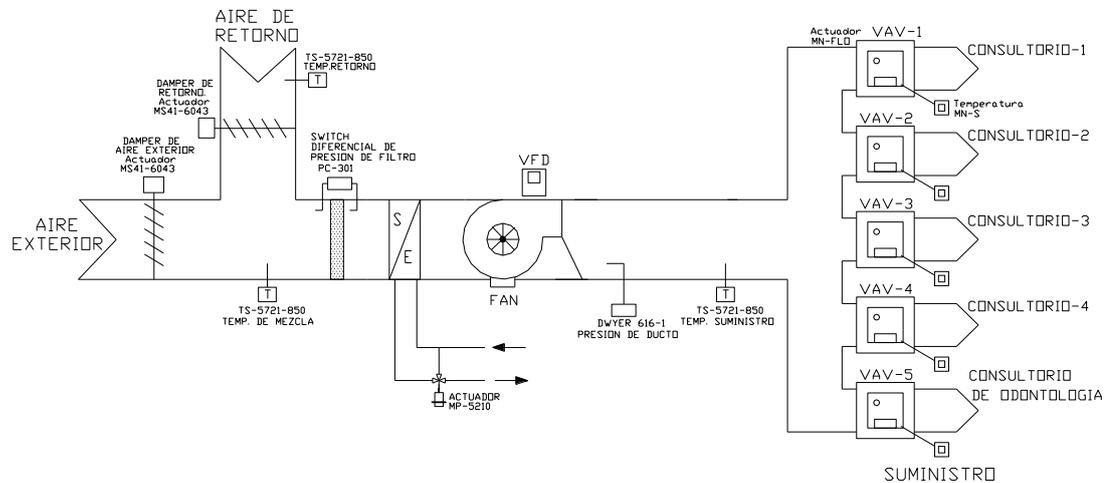


FIGURA 4.6 ESQUEMA DE CONTROL DE UNIDAD MANEJADORA DE AIRE DE VOLUMEN VARIABLE

- ◆ 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.

4.2.4 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 bajas como 50 pies/minuto además de ser el más económico pues utiliza termistores; 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.

4.2.5 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.

CAPÍTULO 5

5. AHORRO ENERGÉTICO

El objetivo principal del uso de un sistema de control en el sistema de acondicionamiento de aire es el ahorro energético, el uso de sensores, controladores y actuadores en las unidades manejadoras de aire permiten la variación de capacidad de enfriamiento que abastece una área según ésta lo demande. Con esto el agua helada varía su temperatura de retorno que a su vez permitirá la modulación de la capacidad de enfriamiento de los chillers o enfriadores. Todas las modulaciones de capacidad de enfriamiento implica un consumo eléctrico acorde con la demanda actual con lo cual se utiliza lo estrictamente necesario.

En el presente capítulo primeramente se analizará el comportamiento inicial del sistema luego de su arranque y calibración para luego hacer una comparación de dicho sistema con un sistema de acondicionamiento

de aire de expansión directa con el fin de demostrar la disminución del consumo eléctrico y el tiempo en que ésta inversión produzca beneficios redituables.

5.1 Monitoreo Inicial del Sistema

Luego de hacer pruebas de arranque y calibración, el sistema de acondicionamiento de aire es prendido ininterrumpidamente para empezar a enfriar toda la instalación venciendo su inercia térmica.

Una de las grandes ventajas de trabajar con sistemas de control directo digital es que se puede programar el monitoreo del sistema de acondicionamiento de aire las 24 horas del día para obtener un historial del comportamiento y así conocer las tendencias futuras para el mejoramiento del control del sistema e incrementar el ahorro energético. Con este fin se programó en el sistema de control el monitoreo del consumo energético de los dispositivos de mayor consumo: bombas de agua de enfriamiento y agua helada, torres de enfriamiento y enfriadores. En el caso de los enfriadores, el monitoreo se programa en su sistema de control independiente el mismo que presenta un historial del porcentaje de consumo máximo de corriente.

Enfriadores

La demanda máxima de energía de los enfriadores es de 108.83 KW-H, los enfriadores están programados para no exceder el 96% del consumo máximo de corriente, esta limitación permite prevenir la sobrecarga del separador de aceite, su monitoreo se muestra en la figura 5.1

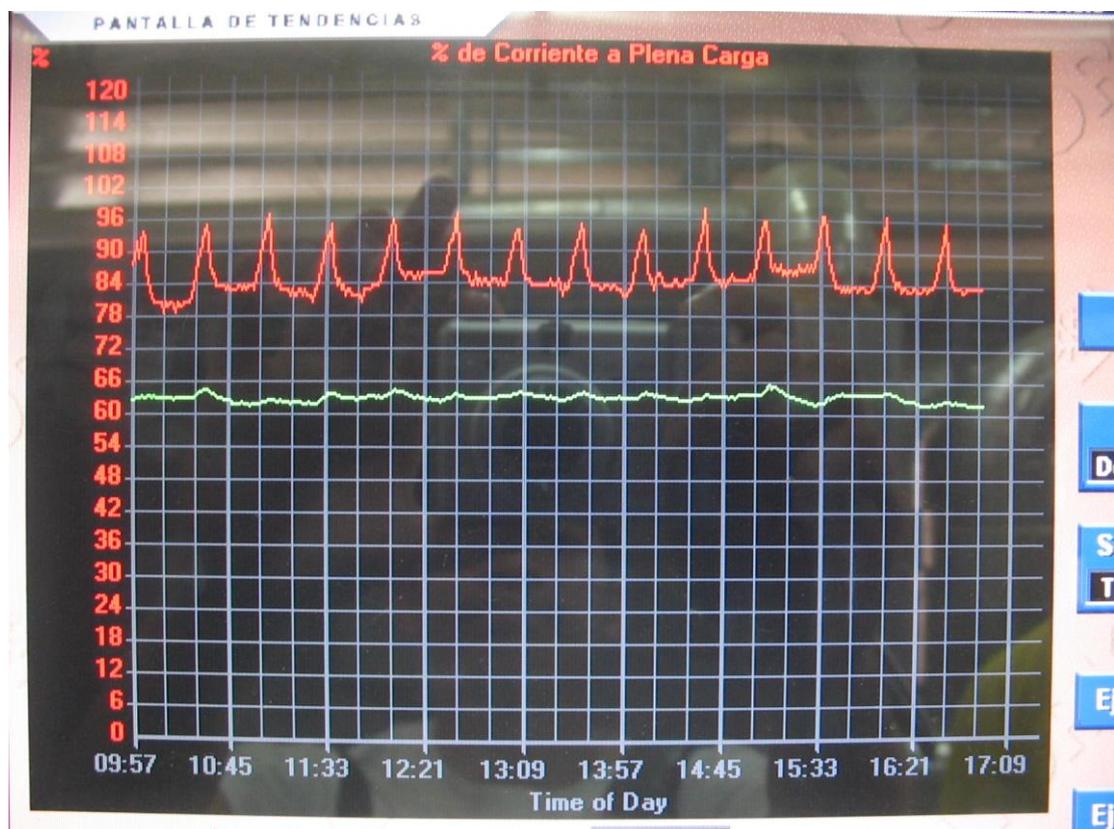


FIGURA 5.1 MONITOREO DE PORCENTAJE DE CORRIENTE A PLENA CARGA DE ENFRIADOR PRINCIPAL

El monitoreo de los enfriadores dio los siguientes resultados en porcentaje del consumo máximo de corriente:

Enfriador principal:

Valor máximo:	97%
Hora de valor máximo:	14h37
Valor mínimo:	78%
Hora de valor mínimo:	10h13
Valor promedio:	87.29%
Número de valores:	110
Sumatoria de valores:	9602

El enfriador secundario no entró en funcionamiento en todo el día en que se tomó la muestra, comportamiento que se repite día a día demostrando que con un solo enfriador se puede abastecer la demanda de enfriamiento de la Unidad Ginecológica y de ser necesario en momentos especiales –mes de marzo 15h00 con gran asistencia de personas- el segundo enfriador puede entrar en funcionamiento. El monitoreo muestra un comportamiento cíclico que varía entre el 78% y 96% del consumo máximo de corriente, conforme pasan las horas en el día el porcentaje mínimo de consumo es mayor hasta llegar a 84%, el tiempo en que llega del valor mínimo al máximo de consumo y viceversa es aproximadamente de 8 minutos cada uno para luego mantenerse en sus valores mínimos por 16 minutos aproximadamente y repetir el mismo ciclo.

En la figura 5.2 se observa el comportamiento de la temperatura de suministro de agua helada

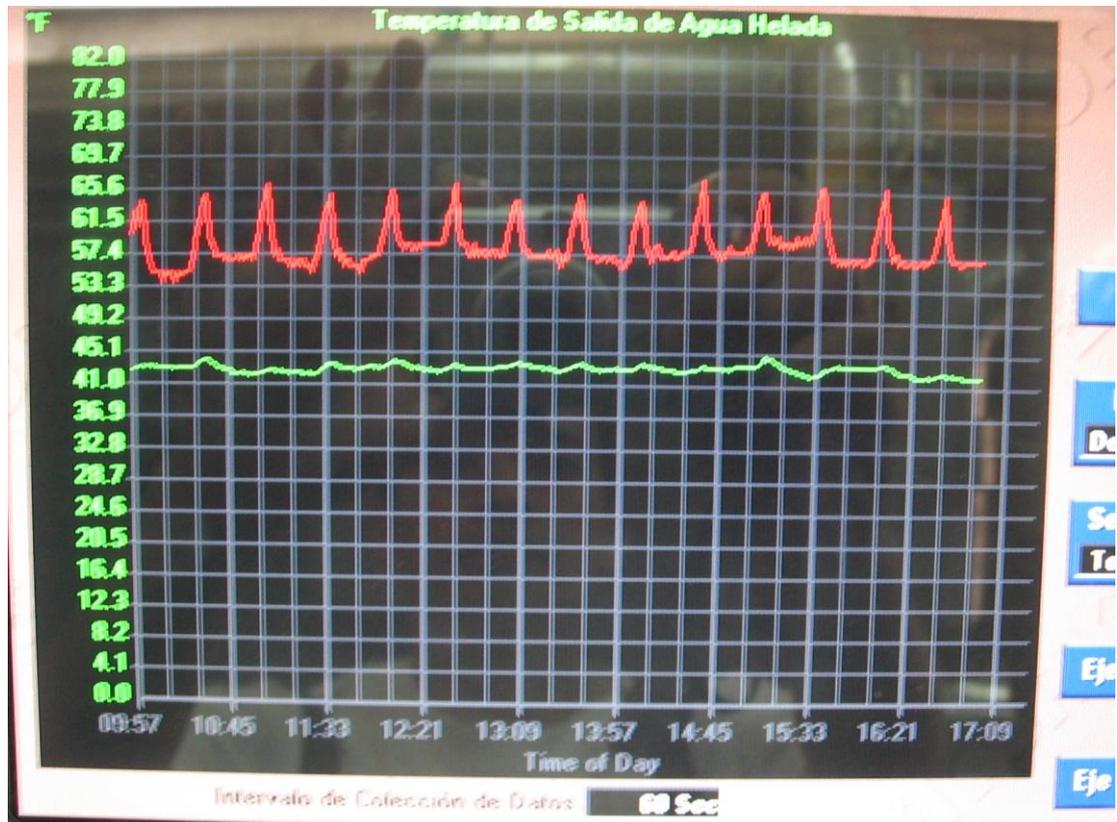


FIGURA 5.2 MONITOREO DE TEMPERATURA DE SALIDA DE AGUA HELADA DE ENFRIADOR PRINCIPAL

Se observa que la temperatura de suministro de agua helada se mantiene entre los 42 y 44⁰F (5.56 y 6.67⁰C) promediando los 43⁰F (6.11⁰C) que es el valor establecido (setpoint) en el enfriador.

Torres de Enfriamiento, Bombas de Agua de Enfriamiento y Bombas de Agua Helada

En la figura 5.3 el sistema de control central nos indica el consumo energético de las torres de enfriamiento, bombas de agua de enfriamiento y bombas de agua helada durante 22 de las 24 horas de funcionamiento ininterrumpido en que se realizó el muestreo:

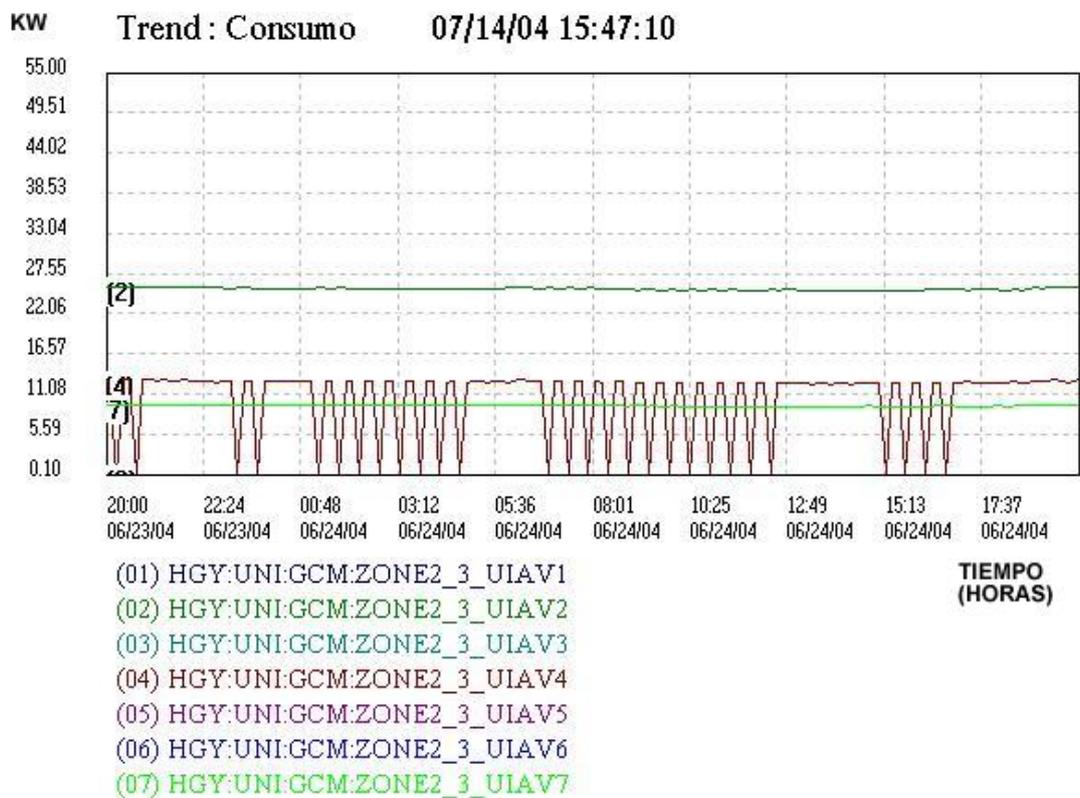


FIGURA 5.3 MONITOREO DE CONSUMO ENERGÉTICO DE TORRE DE ENFRIAMIENTO, BOMBAS DE AGUA HELADA, Y CIRCULACIÓN

Con el monitoreo realizado se obtuvieron los siguientes datos en KW con el uso del generador de reportes del sistema de control central, tabla 5.1:

TABLA 5- 1

VALORES PROMEDIO DE CONSUMO ENERGÉTICO DE BOMBAS Y TORRES DE ENFRIAMIENTO

TREND: SAMPLED DATA

08/04/04 11:26:20

Display Range: 06/23/04 20:00 - 06/24/04 20:00

- [0]= HGY:UNI:GCM:ZONE2_3_UIAV1 - C:\SIGNAL\SAMPDATA\bah1.STF
- [1]= HGY:UNI:GCM:ZONE2_3_UIAV2 - C:\SIGNAL\SAMPDATA\bah2.STF
- [2]= HGY:UNI:GCM:ZONE2_3_UIAV3 - C:\SIGNAL\SAMPDATA\t1.STF
- [3]= HGY:UNI:GCM:ZONE2_3_UIAV4 - C:\SIGNAL\SAMPDATA\t2.STF
- [4]= HGY:UNI:GCM:ZONE2_3_UIAV5 - C:\SIGNAL\SAMPDATA\bac1.STF
- [5]= HGY:UNI:GCM:ZONE2_3_UIAV6 - C:\SIGNAL\SAMPDATA\bac2.STF
- [6]= HGY:UNI:GCM:ZONE2_3_UIAV7 - C:\SIGNAL\SAMPDATA\bac3.STF

FUNCTIONS	[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
MAX VALUES	0.0 KW	26.0 KW	0.0 KW	13.2 KW	0.0 KW	0.0 KW	9.8 KW
MAX VAL. DATES	06/24/04	06/23/04	06/24/04	06/24/04	06/24/04	06/24/04	06/24/04
MAX VAL. TIMES	19:58	20:18	19:52	19:25	19:59	20:00	19:51
MIN VALUES	0.0 KW	25.5 KW	0.0 KW	0.0 KW	0.0 KW	0.0 KW	9.6 KW
MIN VAL. DATES	06/24/04	06/24/04	06/24/04	06/24/04	06/24/04	06/24/04	06/24/04
MIN VAL. TIMES	19:58	18:38	19:52	16:45	19:59	20:00	18:21
AVG VALUES	0.000000	25.660145	0.000000	10.315217	0.000000	0.000000	9.684058
NUM OF VALUES	138	138	138	138	138	138	138
SUM OF VALUES	0.000000	3541.10000	0.000000	1423.50000	0.000000	0.000000	1336.40000

ON VALUES
OFF VALUES

Según los datos obtenidos se observa el funcionamiento de la bomba de agua helada 2, la torre de enfriamiento 2 y la bomba de circulación 3, de ellos el de mayor consumo es la bomba de agua helada.

Las bombas de agua de enfriamiento y de agua helada tienen un consumo casi invariable pues son bombas de volumen constante. En el caso de la torre de enfriamiento el consumo varía entre 0 y 13.2 KW dependiendo de la temperatura de salida del agua del condensador, los pequeños picos que muestra el monitoreo son los 14 a 20 minutos en que permanece prendida la torre a pesar que la temperatura de retorno esté por debajo de los 85°F tal y como está programado en el sistema central, se observa un funcionamiento continuo a plena carga de la torre en horas en que se registra el mayor consumo de energía del enfriador al que corresponde.

Unidades Manejadoras de Aire y Unidades Ventilador-Serpentín (Fan-Coil)

Los ventiladores de estos equipos tienen un consumo constante de energía a excepción de la unidad manejadora de aire de volumen variable, estos serán prendidos y apagados según el horario establecido en el sistema central de control, su consumo eléctrico medido en KiloWatts se observa en la tabla 5.2:

TABLA 5- 2**CONSUMO ENERGÉTICO DE UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE Y
UNIDADES VENTILADOR SERPENTÍN**

DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD (MBTUH)	AMPERAJE	Consumo Energético KW @208-230/60
UMA-PB-01	68.495	6.5	1.3455
UMA-PB-02	23.605	2.4	0.4968
UMA-PB-03	83.321	4.8	0.9936
UMA-PB-04	146.660	7.3	1.5111
UMA-PB-05	72.658	5.5	1.1385
UMA-PB-06	60.317	5.3	1.0971
UMA-PB-07	56.055	5.4	1.1178
UMA-PB-08	119.519	7.3	1.5111
UMA-PB-09	38.480	2.1	0.4347
UMA-PB-10	65.488	3.2	0.6624
UMA-PB-11	65.488	3.4	0.7038
UMA-PB-12	65.488	3.4	0.7038
UMA-PB-13	56.834	2.5	0.5175
UMA-PB-14	53.906	2.7	0.5589
UMA-PA-01	150.756	10.36	2.1445

UMA-PA-02	141.245	7.78	1.6105
UMA-PA-03	141.245	10.53	2.1797
UMA-PA-04	169.834	10.90	2.2563
UMA-PA-05	36.422	3.3	0.6831
UMA-PA-06	51.486	6.77	1.4014
UMA-PA-07	40.221	3.70	0.7659
UMA-PA-08	130.270	7.25	1.5008
UMA-PA-09	77.079	6.58	1.3621
UMA-PA-10	55.610	2.70	0.5589
UMA-PA-11	68.496	9.04	1.8713
UMA-PA-12	149.580	10.98	2.2729
UMA-PA-13	203.158	10.95	2.2667
UMA-PA-14	73.843	7.21	1.4925
UMA-PA-15	396.837	26.51	5.4876
UMA-PA-16	54.041	4.04	0.8363
UMA-PA-17	54.041	5.73	1.1861
UMA-PA-18	54.041	5.86	1.2130
UMA-PA-19	54.041	4.90	1.0143
UMA-PA-20	64.263	5.63	1.1654
UMA-PA-21	50.878	3.18	0.6583
UMA-PA-22	106.218	8.76	1.8133

FC-01	41.400	3.6	0.7452
FC-02	24.542	3.4	0.7038
FC-03	4.215	0.30	0.0621
FC-04	6.778	0.25	0.0518
		TOTAL	50.0961

5.2 Comparación de consumo energético en Sistema Controlado vs. Sistema sin control

Los datos analizados en el subcapítulo anterior van a ser comparados con un sistema de expansión directa.

Los sistemas de expansión directa consumen el 100% de la capacidad de enfriamiento cada vez que son encendidas, dichos sistemas son controlados por un termostato que sensa la temperatura de la zona a climatizar y manda una orden de encendido o apagado tanto de evaporadoras como de condensadoras, es primordial que el termostato se encuentre cerca de las rejillas de retorno para que el sistema acondicione toda la área.

En el mercado de acondicionamiento de aire de expansión directa hay capacidades de enfriamiento estándar por lo que se escogerán los

equipos de enfriamiento $\pm 10\%$ más cercanos a la carga de enfriamiento necesaria o al inmediato superior.

La tabla 5.3 nos indica el resumen de equipos de expansión directa que serían escogidos para acondicionar la Unidad Ginecológica del Hospital Universitario, el amperaje que consume su unidad evaporadora, condensadora y la energía de consumo en KW total. La energía consumida por cada equipo en KW se la calcula de la siguiente manera:

$$\text{Potencia (KW)} = \text{Voltaje} * \text{Amperaje} * \text{factor de potencia}$$

Para efectos de cálculo se utilizará un voltaje de 230v y un factor de potencia de 0.9 los mismos que son valores normales de funcionamiento.

TABLA 5.3 LISTADO DE EQUIPOS DE EXPANSIÓN DIRECTA Y CONSUMO ENERGÉTICO

Cantidad	Capacidad de Enfriamiento (BTUH)	Consumo Energético @208-230/60			
		UE		UC	
		Amperios por unidad	KW total	Amperios por unidad	KW total
2	9000	0.1	0.0414	5.19	2.1487
2	24000	1.6	0.6624	12.6	5.2164
1	36000	3.3	0.6831	17.5	3.6225
2	42000	4.4	1.8216	21.2	8.7768
3	48000	3.8	2.3598	24.3	15.0903
13	60000	4.4	11.8404	30.1	80.9991
6	90000	5.2	6.4584	37.4	46.4508
3	120000	6.8	4.2228	45.0	27.9450
5	150000	9.6	9.9360	52.6	54.4410
1	180000	9.6	1.9872	69.4	14.3658
1	240000	12.8	2.6496	94.2	19.4994
1	360000	21.0	4.3470	148.0	30.6360
		TOTAL	47.0097	TOTAL	309.1918

Para llevar a cabo la comparación de un sistema agua-agua con un sistema aire-aire se toman las siguientes consideraciones:

- ◆ La comparación de los dos sistemas será en un lapso de tiempo de 24 horas
- ◆ Los valores obtenidos del monitoreo de enfriadores, torres de enfriamiento, bombas de agua helada y bombas de agua de circulación en el sistema central de control del sistema agua-agua son valores promedio por lo que serán multiplicados por 24 horas
- ◆ El tiempo de funcionamiento de las unidades manejadoras de aire y unidades ventilador-serpentin (fan-coil) dependen del horario establecido en el sistema central de control, el funcionamiento promedio para efectos de cálculo será de 14 horas
- ◆ El tiempo promedio de funcionamiento del sistema aire-aire será de 14 horas diarios por lo que todos sus valores de consumo en KW serán multiplicados por dicha cantidad de tiempo

Por lo tanto el consumo energético de un sistema agua-agua con sistema de control comparado con un sistema aire-aire es el siguiente, tabla 5.4:

TABLA 5.4 COMPARACIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO EN SISTEMAS AGUA-AGUA Y AIRE-AIRE

CONSUMO ENERGÉTICO MEDIDO EN KW			
SISTEMA AGUA-AGUA		SISTEMA AIRE-AIRE	
Unid. Man. de Aire y un. Ventilador-serpentín (40)	701.35	Un. Evaporadoras (40)	658.14
Enfriadores (1)	2279.85	Un. Condensadoras (40)	4328.69
Torres de Enfriamiento (1)	247.57		
B. Agua Helada (1)	615.84		
B. Agua Circulación (1)	232.42		
TOTAL	4077.03	TOTAL	4986.82

El sistema agua-agua consume 909.79 KW-día menos que un sistema aire-aire, lo que implica una disminución del 18% del consumo energético.

La tabla 5.5 indica el ahorro de consumo energético anual y el tiempo de recuperación de la inversión del sistema de control central dependiendo del costo del KW-H. En los últimos años, luego de la dolarización se está observando un decaimiento de la inflación que en el año 2000 fue del 67.2% al 6.1% en el año 2003, proyectándose una inflación del 3% para el año 2004, bajo este comportamiento se asume una tasa de inflación anual del 5%. El número de períodos mensuales para recuperar la

inversión se la obtiene por medio de iteraciones con la ecuación de anualidades vencidas:

$$C = R \left[\frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} \right] \quad (4)$$

Donde:

C: Capital de Inversión del Sistema de Control

i: Tasa de inflación anual

n: Número de pagos anuales

TABLA 5.5 CONSUMO ENERGÉTICO MENSUAL Y TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE CAPITAL DE SISTEMA DE CONTROL CENTRAL

Costo KW-H (dólares)	Ahorro Mensual (dólares)	Número de Meses
0.08	2 189.50	68
0.09	2 456.40	60
0.10	2 729.40	53
0.11	3 002.31	48

Mientras mayor sea el costo del KW-H menor será el tiempo de recuperación de la inversión.

⁽⁴⁾ DeGarmo, Sullivan y Canada, Engineering Economy, (7ma. Edición: New York, Macmillan Publishing company, 1984), pp. 50

CAPÍTULO 6

6. CALIBRACIÓN Y PUESTA EN MARCHA

En este capítulo se describirá el procedimiento seguido para la calibración y puesta en marcha tanto del sistema de control central como de los equipos de acondicionamiento de aire, para esto dichos equipos ya están debidamente instalados con su alimentación eléctrica y las conexiones de los equipos a los controladores.

Sistema de Control Central

Luego de haberse hecho las conexiones según lo indicado en planos se debe verificar la continuidad en las entradas y salidas entre el controlador y los sensores o actuadores para verificar la correcta instalación y codificar el número de controlador en el address select para que concuerde con el número establecido en el sistema de control central.

Enfriadores

Los enfriadores son los últimos equipos en arrancar de todo el sistema de acondicionamiento de aire, para esto se debe haber calentado el aceite en el separador y principalmente debe haber demanda de carga de enfriamiento para que el enfriador no entre en ciclaje; por lo tanto, las unidades manejadoras de aire y las unidades ventilador-serpentín (fan-coil) deben estar en funcionamiento. Verificar que los enfriadores responden correctamente a los mandos de arranque y parada por temperatura de retorno de agua helada y orden del sistema de control central y a su vez de su sistema de control independiente. Hacer un monitoreo minucioso del comportamiento de los enfriadores según su jerarquía y las temperaturas de operación.

Bombas de agua helada y de enfriamiento

Luego de ser instaladas en sus bases y conectadas se debe verificar el sentido de rotación de las bombas para su correcto funcionamiento, asimismo se debe verificar que prendan y apaguen según las órdenes de arranque y parada del sistema de control central. Se puede comprobar el caudal de agua helada que hace circular cada bomba con las lecturas del flujometro.

Torres de Enfriamiento

Para el arranque de las torres de enfriamiento se debe verificar el sentido de rotación de las aspas para su correcto funcionamiento luego de lo cual se procede con las pruebas de operación.

Las torres de enfriamiento deben prender y apagar por dos condiciones: por orden del sistema de control central cuando se prende o apaga el enfriador correspondiente a cada torre y/o cuando la temperatura del agua de enfriamiento de retorno sube o baja de los valores establecidos para que prenda o apague respectivamente.

La figura 6.1 ilustra el monitoreo de la sala de máquinas.

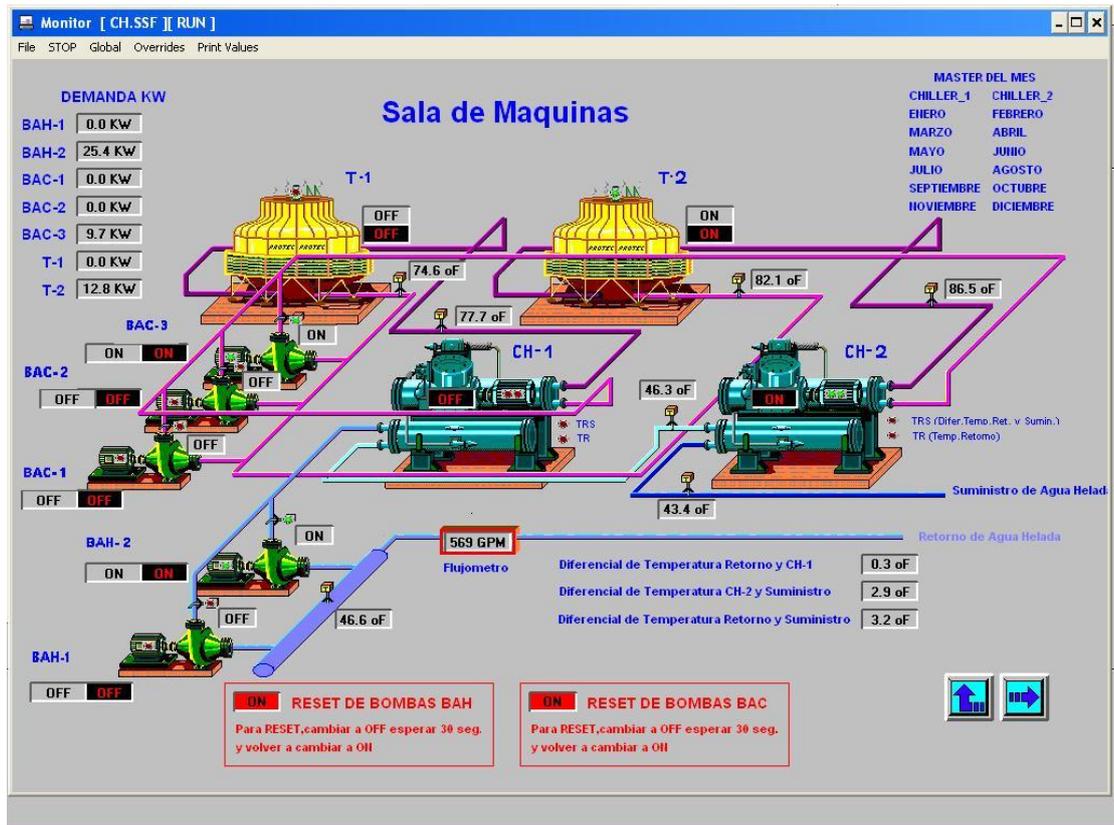


FIGURA 6.1 MONITOREO DE SALA DE MÁQUINAS

Unidades Ventilador Serpentin (Fan-coil)

En las unidades ventilador serpentin se debe verificar el arranque y parada de los equipos según la orden del sistema de control central, así también las válvulas de 3 vías de las unidades ventilador serpentin deben abrir y cerrar según ordene el termostato que se encuentra en el espacio acondicionado.

Unidades manejadoras de aire de volumen constante

Sin recalentador

Las unidades manejadoras de aire en general disponen de muchos dispositivos de control que tienen que ser calibrados antes y después del arranque del equipo. Antes del arranque del equipo se debe verificar que los actuadores permitan el movimiento de todo el rango de apertura de los dampers (compuertas) principalmente de las compuertas face and bypass, verificar que los sensores diferenciales de presión de diafragma estén en posición vertical para su correcto funcionamiento y que las mangueras del mismo se encuentren en lugares alejados de turbulencia. Luego de esto se arranca el equipo y se verifican las lecturas de temperatura de los sensores los mismos que deben dar lecturas razonables acorde con su ubicación.

Cambiando los valores establecidos (setpoints) de temperatura de zona se puede verificar el correcto funcionamiento de la válvula de tres vías y de la compuerta face and bypass las mismas que son las encargadas de modular la carga de enfriamiento según la variación de temperatura de zona. Cuando se indica una temperatura lo suficientemente baja (como 60°F) en primera instancia la compuerta face and bypass cerrará por completo el paso de aire de retorno directo al suministro haciendo que el 100% del aire circule por el

evaporador, luego la válvula de tres vías se abrirá completamente permitiendo que la unidad manejadora se encuentre a la máxima capacidad de enfriamiento; asimismo al establecer una temperatura de zona de 80°F primeramente la compuerta face and bypass abrirá la compuerta para la circulación de aire de retorno hacia el suministro haciendo que una menor cantidad de aire circule por el evaporador, luego de esta acción de ser necesario la válvula de tres vías cerrará proporcionalmente el paso de agua helada hacia el evaporador hasta que la temperatura de zona llegue al valor establecido, verificando así que los dispositivos de control modulen la capacidad de enfriamiento de la unidad manejadora de aire.

La figura 6.2 ilustra el comportamiento de una unidad manejadora de aire según el monitoreo del sistema de control central.

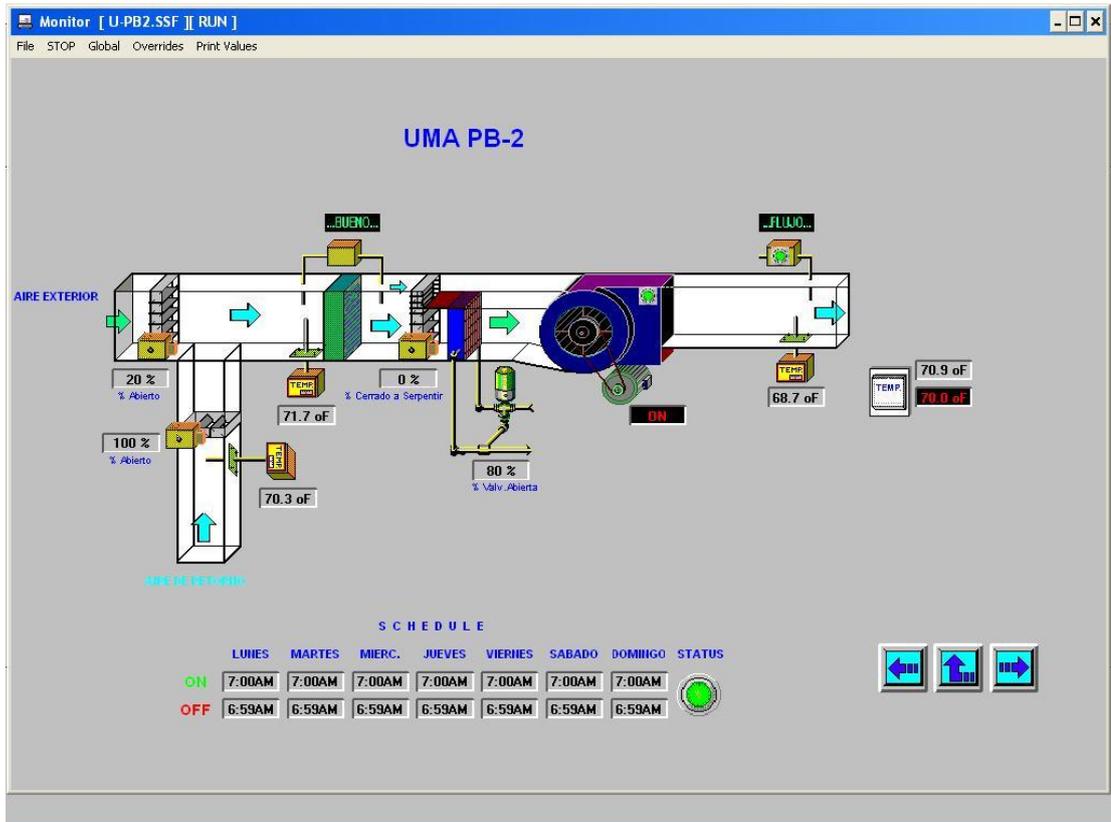


FIGURA 6.2 MONITOREO DE UNIDAD MANEJADORA DE AIRE DE VOLUMEN CONSTANTE SIN RECALENTADOR

Con recalentador

Las unidades manejadoras de aire de volumen constante con recalentador además de ser calibradas como las unidades sin recalentador debe hacerse la siguiente prueba: para verificar el correcto funcionamiento de las cuatro etapas del recalentador se debe establecer una humedad relativa baja y una temperatura de zona cada vez más alta para verificar que con cada aumento de temperatura

prende una etapa más del recalentador, así mismo la válvula de tres vías debe abrirse por completo para disminuir al máximo la humedad del aire de retorno.

La figura 6.3 ilustra el comportamiento de una unidad manejadora de aire de volumen constante con recalentador.

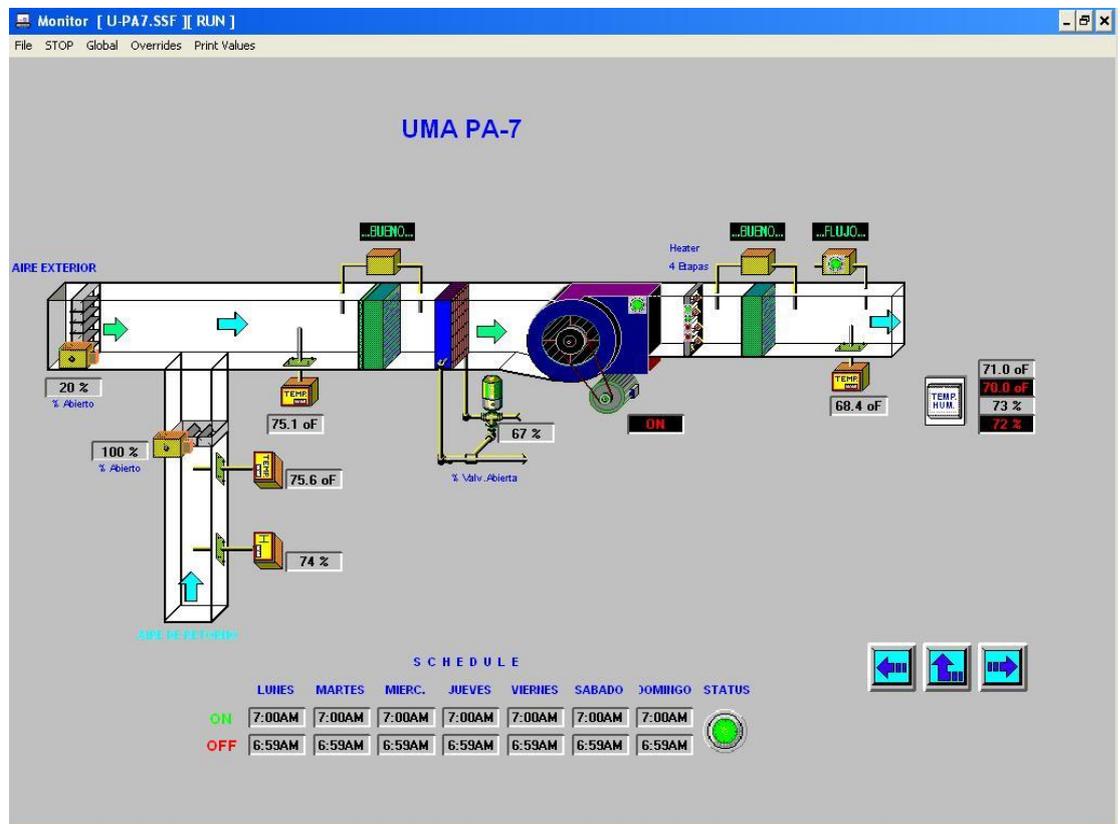


FIGURA 6.3 MONITOREO DE UNIDAD MANEJADORA DE AIRE DE VOLUMEN CONSTANTE CON RECALENTADOR

Unidades manejadoras de aire de volumen variable

En las unidades manejadoras de aire de volumen variable además de verificar el correcto funcionamiento de las compuertas de aire y las lecturas de temperatura -en este caso de suministro, mezcla y aire de retorno únicamente- se debe verificar que las mangueras que comunican al sensor diferencial de presión con las zonas a sensar deben ubicarse en zonas apartadas de turbulencia y que mida la variación de presión del ducto principal que distribuye aire a todas las zonas controladas por las cajas de volumen de aire variable. Luego se debe verificar que el variador de frecuencia actúe disminuyendo las revoluciones del ventilador cuando la presión del ducto principal sea mayor a 1.2 in. w.

La válvula de tres vías actuará según la variación en la temperatura de suministro. La figura 6.4 ilustra el monitoreo de la unidad manejadora de aire de volumen variable junto con las cajas de volumen de aire variable.

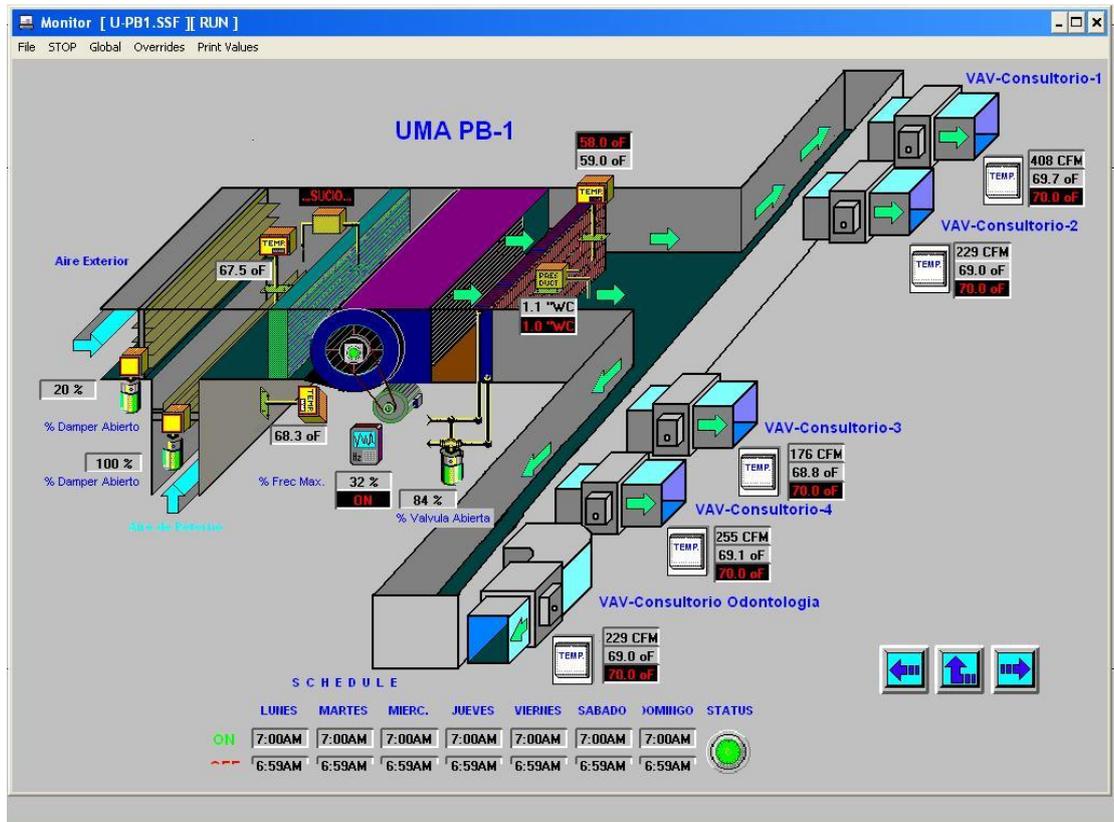


FIGURA 6.4 MONITOREO DE UNIDAD MANEJADORA DE AIRE DE VOLUMEN VARIABLE Y CAJAS DE VOLUMEN DE AIRE VARIABLE

Cajas de volumen de aire variable

Los termistores de las cajas de volumen de aire variable deben estar ubicadas en la entrada de la caja lejos de turbulencia para que el caudal de aire calculado sea el necesario para poder modular el enfriamiento de la zona acondicionada, variando la temperatura de zona se debe verificar la modulación del caudal de aire. Cuando varias son las zonas en las que

se cierran las compuertas para restringir el paso de aire de suministro, se puede verificar que la presión de aire sensada dentro del ducto principal aumenta y que el variador de frecuencia actúa disminuyendo las revoluciones del ventilador; cuando llega a una velocidad mínima, la válvula de tres vías actúa disminuyendo la cantidad de agua helada que circula por el evaporador y por ende disminuyendo la capacidad de enfriamiento. La figura 6.4 ilustra el monitoreo de las cajas de volumen de aire variable junto con su unidad manejadora de aire.

Ventiladores de suministro y extracción

En los ventiladores de suministro y extracción se debe verificar el arranque y parada según el horario establecido por el sistema de control central.

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de la selección, instalación y monitoreo del sistema de control de la unidad ginecológica se analizarán los beneficios de dicho sistema y se recomendarán varios ajustes que optimizarán el funcionamiento y control del sistema de acondicionamiento de aire.

1. El uso de sistemas de control para disminuir el consumo energético en grandes edificaciones es una solución eficaz para propietarios y todo el medio circundante pues reduce la acelerada contaminación ambiental.
2. Los sistemas de control directos digitales (DDC) son flexibles de tal forma que permiten que nuevas unidades del hospital se vayan adicionando al mismo sistema de control, no se descalibran como

pasa con los sistemas neumáticos, se pueden implementar los nuevos avances tecnológicos para que la edificación aproveche al máximo sus capacidades como mediciones de CO₂ para monitorear y optimizar la calidad de aire e incluso monitorear la cantidad de energía eléctrica generada con el uso de energía renovable.

3. Para la construcción de la arquitectura del sistema de control se debe considerar la autonomía y complejidad de cada equipo a controlar.
4. Se debe poner un cuidado especial al escoger la capacidad de enfriamiento de los enfriadores (chillers) ya que éstos son eficientes en sus capacidades nominales de enfriamiento e ineficientes a bajas capacidades.
5. El sistema de control central es una solución efectiva para la reducción del consumo energético que aumenta la inversión inicial en un 10% del costo total del sistema de acondicionamiento de aire pero que disminuye significativamente los costos operativos en un 18% ($\cong 1000$ KW por día), lo que representa una recuperación de la inversión entre 4 y 6 años dependiendo del costo del kilowatio-hora (KW-h).

6. El tiempo de vida del sistema de control central pasa de los 25 años, tiempo en que se ha recuperado entre un 30 y un 60% del costo total del sistema de acondicionamiento de aire dependiendo del costo del KW-hora entre \$0.08 y \$0.11 respectivamente, asumiendo una inflación del 5%.

7. El valor de consumo energético anual esperado para hospitales es de 130 000 BTU/pie²-año. Si la Unidad Ginecológica que tiene un área de 9 360 m² utilizara un sistema de expansión directa sin control central el área de climatización consumiría 61 645 BTU/pie²-año totalizando una demanda eléctrica de 154 112 BTU/pie²-año. Con el sistema de control central el consumo energético del sistema de acondicionamiento de aire es de 50 400 BTU/pie²-año totalizando una demanda eléctrica de 126 000 BTU/pie²-año, llegando a consumir menos de los valores esperados.

8. El 30% de la generación eléctrica en el Ecuador proviene de centrales térmicas a vapor las mismas que utilizan fuel oil como combustible. Con un ahorro energético de 332 070 KW al año se evita la emanación de: 630 930 lb de CO₂, 2 660 lb de SO₂, 1 000 lb de NO_x
La disminución de emanación de CO₂ es equivalente a sacar de circulación 60 carros por año.

Recomendaciones

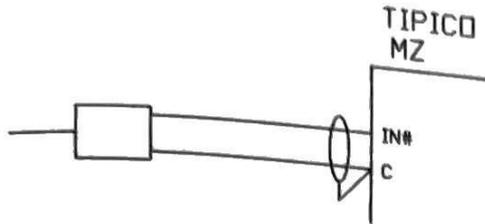
1. Debido a las nuevas demandas de la sociedad, los ingenieros mecánicos deben formar parte del grupo de ingenieros y arquitectos encargados del diseño inicial de una edificación para asesorar de la mejor forma el diseño arquitectónico que menor consumo energético represente.
2. Es recomendable la utilización de termistores para sensar temperatura, sensores de diafragma planos para sensar presión, compuertas fijas para ingreso de aire exterior y aire de retorno para disminuir el costo inicial de inversión sin que afecte el ahorro energético obtenido.
3. Se recomienda establecer un interfase entre el sistema de control central y el sistema de control de los enfriadores (chillers) con el fin que la estrategia de control en ambos sistemas sea la misma, evitando que los valores establecidos (setpoints) en el sistema de control central difieran con los establecidos en el sistema de control de los enfriadores.
4. Se recomienda motorizar las válvulas de la tubería de agua de la sala de máquinas para que según la demanda energética se permita o restrinja el paso de agua helada por el enfriador secundario para

disminuir el desgaste por erosión de los tubos del evaporador, uno de los puntos débiles de la configuración en serie de enfriadores.

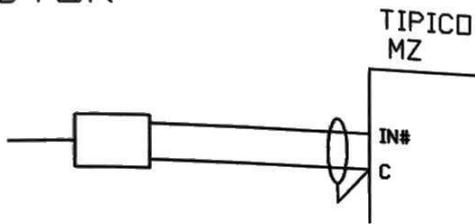
5. Se recomienda utilizar variadores de frecuencia en cada motor ventilador para disminuir el consumo energético cuando las temperaturas de salida del condensador sean bajas, aumentando el ahorro energético del sistema y por ende disminuyendo el tiempo de recuperación de capital de inversión.

PLANOS

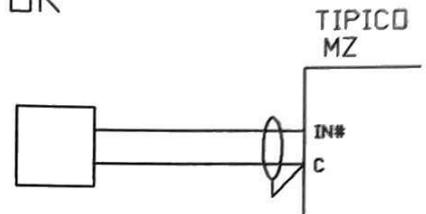
SENSOR DE TEMPERATURA
TS-5721-850
THERMISTOR



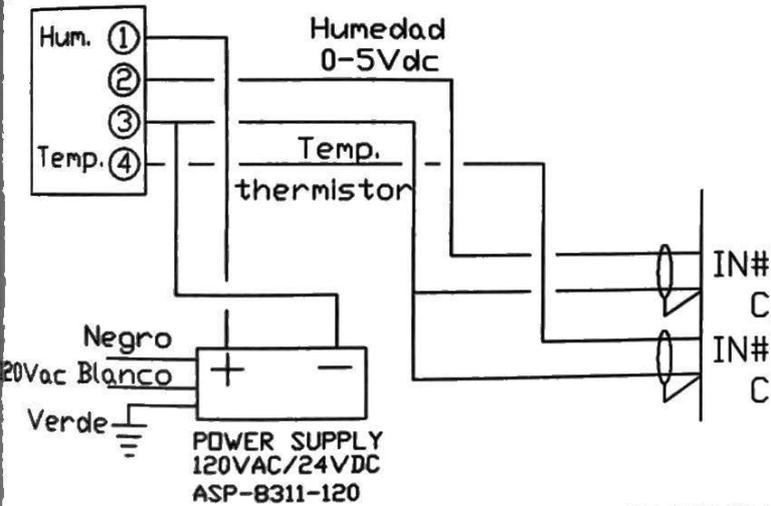
SENSOR DE TEMPERATURA
TS-5721-853
THERMISTOR



SENSOR DE TEMPERATURA
TSMN-57011-850
THERMISTOR

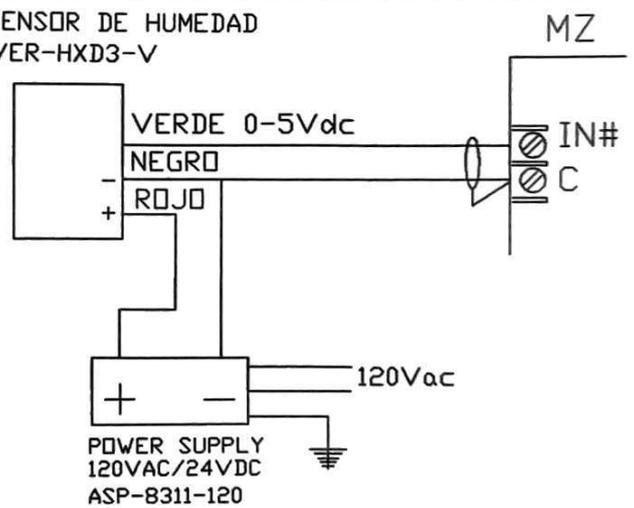


Sensor Humedad y Temperatura
VER-HXW/R-10K-3-V



SENSOR DE HUMEDAD Y TEMPERATURA
VER-HXW/R-10K-3-V

SENSOR DE HUMEDAD
VER-HXD3-V



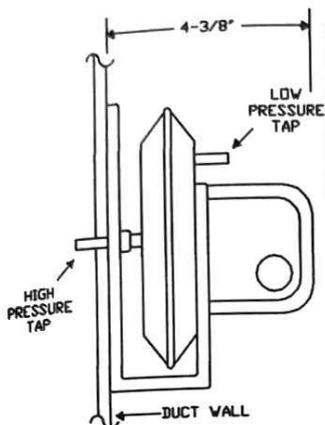
SENSOR DE HUMEDAD
VER-HXD3-V

FIMCP - ESPOL

FECHA	NOMBRE
Dibujo 4/2003	J.F.
Reviso 5/2003	Ing. Donoso

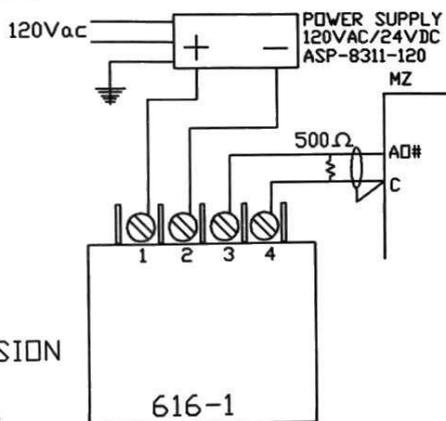
PROYECTO:	PIEZA NO.	PLANO NO.
Sistema de control y monitoreo de Siste. de Ac. de Aire		1
ESC: Ind.	CONTIENE: Descripción de sensores de temperatura y humedad	

NOTA



1. EL DIAFRAGMA DEBE SER MONTADO EN UNA POSICION VERTICAL Y EN UNA LOCALIZACION FUERA DE VIBRACION.

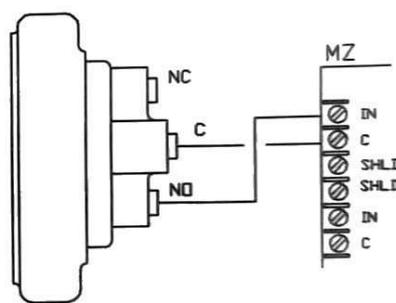
2. EL TUBO DE PITOT DEBE SER INSTALADO EN UN AREA DONDE LA TURBULENCIA DE AIRE ES MINIMA (6 A 8 DIAMETROS DE DUCTO CONTRA LA SALIDA DEL VENTILADOR, CODOS, "T" Y DAMPERS), COLOQUE LA PUNTA DEL TUBO DE PITOT LO MAS CERCA POSIBLE AL CENTRO DEL DUCTO.



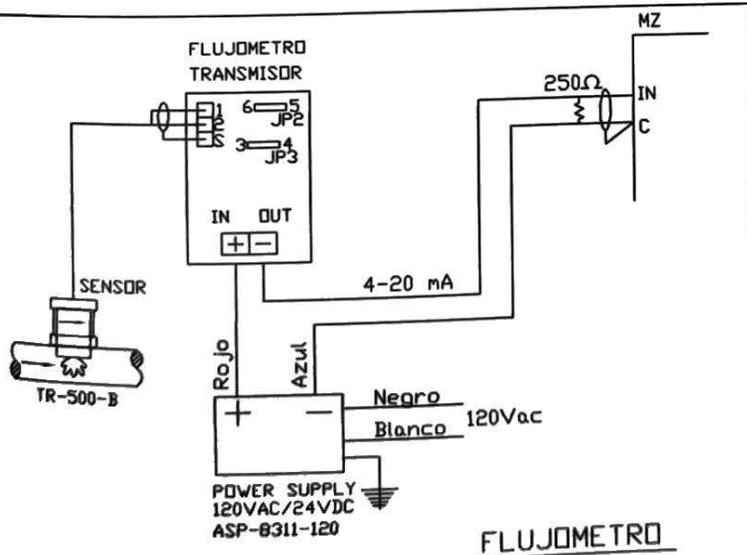
TRANSMISOR DE PRESION DIFERENCIAL

INPUT SIGNAL: 0-3 in. w.c.
OUTPUT SIGNAL: 4-20 mA DC

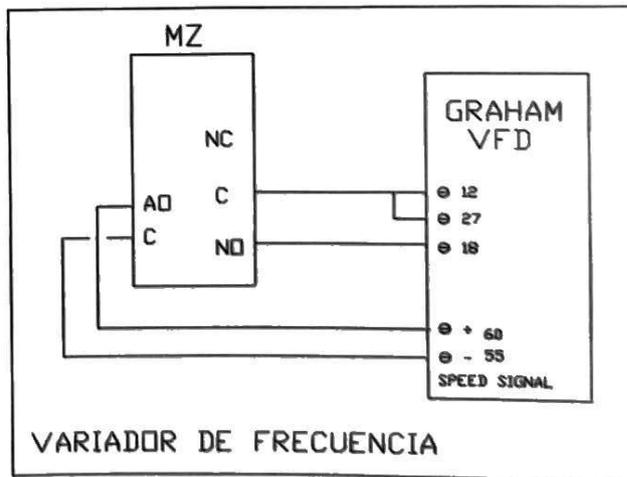
DIFERENCIAL DE PRESION



FLUJOMETRO TRANSMISOR



FLUJOMETRO



VARIADOR DE FRECUENCIA

FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
Dibujado		4/2003	JF
Revisado		5/2003	Benavides
PROYECTO:	Sistema de control y monitoreo de Siste. de Ac. de Aire	PIEZA NO.	PLANO NO.
ESC:	CONTIENE: Descripción de sensores de presión y flujo y variador de frecuencia		2



APÉNDICES

MONITOREO DE

ENFRIADOR NÚMERO 2

-YORK Historia 8-
-Identificación de la Unidad 2-
(c) 1997 - 2001 YORK INTERNATIONAL CORPORATION
Vie 09.07.2004 10:39:48

SISTEMA FUNCIONANDO
SALIDA AGUA HELADA - BAJA TEMPERATURA

Controles C.MLM.05.03.100
Tiempo de Operación 0 Días 0 Hr 19 Min

Horas de operación	= 300 Hr
Número de arranques	= 38
Fuente de Control	= Local

Evaporador

Punto de Ajuste ACTIVO de Salida Agua Helada	= 46.0 °F
Bomba de Agua Helada	= Funcionando
Interruptor de Flujo Agua Helada	= Cerrado
Temperatura de Salida de Agua Helada	= 43.0 °F
Temperatura de Retorno Agua Helada	= 42.9 °F
Presión del Evaporador	= 37.8 Psig
Presión de Saturación del Evaporador	= 42.8 °F
Temperatura de Refrigerante en Evaporador	= 43.1 °F
Diferencia Pequeña de Temperatura	= -0.1 °F

Condensador

Bomba de Agua Condensación	= Funcionando
Interruptor de Flujo Agua Condensación	= Cerrado
Temperatura de Salida de Agua Condensación	= 80.3 °F
Temperatura de Retorno de Agua Condensación	= 80.0 °F
Presión en Condensador	= 61.8 Psig
Temperatura de Saturación en Condensador	= 63.4 °F
Diferencia Pequeña de Temperatura	= -16.9 °F
Diferencia Pequeña de Temperatura	= 78.5 °F
Temperatura de Sub-Enfriamiento	= -15.1 °F

Compresor

Temperatura de Descarga = 107.5 °F
Presión de descarga = 63.0 Psig
Sobrecalentamiento en la Descarga = 44.1 °F
Posición de la Válvula Deslizante = 0 %
Inyector de Líquido = Abierto

Depósito de Aceite

Presión de Aceite = 60.0 Psig
Presión Diferencial de Aceite = 22.2 Psid
Diferencial de Presión en Filtro = 3.0 Psid
Valv. Solenoide de Retorno de Aceite = Encendido

Control de Nivel de Refrigerante

Ascenso Nivel Refrigerante = 50 %
Posición del Nivel de Refrigerante = 6 %

Arrancador Electro-Mecánico

Motor Funcionando = Encendido
% de Corriente a Plena Carga = 0 %

-YORK Historia 9-

-Identificación de la Unidad 2-

(c) 1997 - 2001 YORK INTERNATIONAL CORPORATION

Jue 08.07.2004 12:11:42

PARO POR CICLAJE - REARRANQUE AUTOMATICO
CONTACTOS ABIERTOS - SISTEMA CICLANDO

Controles C.MLM.05.03.100

Tiempo de Operación 0 Días 0 Hr 0 Min

Horas de operación = 300 Hr
Número de arranques = 37
Fuente de Control = Local

Evaporador

Punto de Ajuste ACTIVO de Salida Agua Helada	= 46.0 °F
Bomba de Agua Helada	= Funcionando
Interruptor de Flujo Agua Helada	= Cerrado
Temperatura de Salida de Agua Helada	= 41.9 °F
Temperatura de Retorno Agua Helada	= 42.0 °F
Presión del Evaporador	= 37.1 Psig
Presión de Saturación del Evaporador	= 42.1 °F
Temperatura de Refrigerante en Evaporador	= 45.7 °F
Diferencia Pequeña de Temperatura	= -3.8 °F

Condensador

Bomba de Agua Condensación	= Parar
Interruptor de Flujo Agua Condensación	= Cerrado
Temperatura de Salida de Agua Condensación	= 72.6 °F
Temperatura de Retorno de Agua Condensación	= 72.6 °F
Presión en Condensador	= 37.9 Psig
Temperatura de Saturación en Condensador	= 42.9 °F
Diferencia Pequeña de Temperatura	= -29.7 °F
Diferencia Pequeña de Temperatura	= 44.2 °F
Temperatura de Sub-Enfriamiento	= -1.3 °F

Compresor

Temperatura de Descarga	= 106.1 ~F
Presión de descarga	= 37.0 Psig
Sobrecalentamiento en la Descarga	= 63.2 ~F
Posición de la Válvula Deslizante	= 0 %
Inyector de Líquido	= Abierto

Depósito de Aceite

Presión de Aceite	= 36.9 Psig
Presión Diferencial de Aceite	= 0.0 Psid
Diferencial de Presión en Filtro	= 0.1 Psid
Valv. Solenoide de Retorno de Aceite	= Apagado

Control de Nivel de Refrigerante

Ascenso Nivel Refrigerante = 50 %
Posición del Nivel de Refrigerante = 5 %

Arrancador Electro-Mecánico

Motor Funcionando = Apagado
% de Corriente a Plena Carga = 0 %

-YORK Historia 10-

-Identificación de la Unidad 2-

(c) 1997 - 2001 YORK INTERNATIONAL CORPORATION

Jue 08.07.2004 12:02:22

SISTEMA FUNCIONANDO

SALIDA AGUA HELADA - BAJA TEMPERATURA

Controles C.MLM.05.03.100

Tiempo de Operación 0 Días 0 Hr 27 Min

Horas de operación = 300 Hr
Número de arranques = 37
Fuente de Control = Local

Evaporador

Punto de Ajuste ACTIVO de Salida Agua Helada = 46.0 °F
Bomba de Agua Helada = Funcionando
Interruptor de Flujo Agua Helada = Cerrado
Temperatura de Salida de Agua Helada = 43.0 °F
Temperatura de Retorno Agua Helada = 48.3 °F
Presión del Evaporador = 37.2 Psig
Presión de Saturación del Evaporador = 42.2 °F
Temperatura de Refrigerante en Evaporador = 42.3 °F
Diferencia Pequeña de Temperatura = 0.7 °F

Condensador

Bomba de Agua Condensación	= Funcionando
Interruptor de Flujo Agua Condensación	= Cerrado
Temperatura de Salida de Agua Condensación	= 82.7 °F
Temperatura de Retorno de Agua Condensación	= 76.3 °F
Presión en Condensador	= 95.1 Psig
Temperatura de Saturación en Condensador	= 84.9 °F
Diferencia Pequeña de Temperatura	= 2.2 °F
Diferencia Pequeña de Temperatura	= 79.3 °F
Temperatura de Sub-Enfriamiento	= 5.6 °F

Compresor

Temperatura de Descarga	= 108.3 °F
Presión de descarga	= 97.0 Psig
Sobrecalentamiento en la Descarga	= 23.4 °F
Posición de la Válvula Deslizante	= 0 %
Inyector de Líquido	= Abierto

Depósito de Aceite

Presión de Aceite	= 91.5 Psig
Presión Diferencial de Aceite	= 54.3 Psid
Diferencial de Presión en Filtro	= 5.5 Psid
Valv. Solenoide de Retorno de Aceite	= Encendido

Control de Nivel de Refrigerante

Ascenso Nivel Refrigerante	= 50 %
Posición del Nivel de Refrigerante	= 39 %

Arrancador Electro-Mecánico

Motor Funcionando	= Encendido
% de Corriente a Plena Carga	= 0 %

MONITOREO DE TORRES DE ENFRIAMIENTO,

BOMBAS DE AGUA HELADA

Y BOMBAS DE CIRCULACIÓN

Display Range: 06/23/04 20:00 - 06/24/04 20:00
 [0]= HGY:UNI:GCM:ZONE2_3_UIAV1 - bah1.STF
 [1]= HGY:UNI:GCM:ZONE2_3_UIAV2 - bah2.STF
 [2]= HGY:UNI:GCM:ZONE2_3_UIAV3 - t1.STF
 [3]= HGY:UNI:GCM:ZONE2_3_UIAV4 - t2.STF
 [4]= HGY:UNI:GCM:ZONE2_3_UIAV5 - bac1.STF
 [5]= HGY:UNI:GCM:ZONE2_3_UIAV6 - bac2.STF
 [6]= HGY:UNI:GCM:ZONE2_3_UIAV7 - bac3.STF

DATE	TIME	[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
06/23/04	20:00						0.0 KW	9.8 KW
06/23/04	20:01							
06/23/04	20:02			0.0 KW				
06/23/04	20:05				13.1 KW			
06/23/04	20:08	0.0 KW	25.9 KW			0.0 KW		
06/23/04	20:09							
06/23/04	20:10						0.0 KW	
06/23/04	20:11							
06/23/04	20:12			0.0 KW				9.8 KW
06/23/04	20:15				0.0 KW			
06/23/04	20:18	0.0 KW	26.0 KW			0.0 KW		
06/23/04	20:19							
06/23/04	20:20						0.0 KW	
06/23/04	20:21							
06/23/04	20:22			0.0 KW				9.8 KW
06/23/04	20:25							
06/23/04	20:28	0.0 KW	25.9 KW		13.2 KW	0.0 KW		
06/23/04	20:29							
06/23/04	20:30						0.0 KW	
06/23/04	20:31							9.8 KW



06/23/04	20:32			0.0 KW				
06/23/04	20:35				13.2 KW			
06/23/04	20:38	0.0 KW	25.9 KW					
06/23/04	20:39					0.0 KW		
06/23/04	20:40						0.0 KW	
06/23/04	20:41							9.8 KW
06/23/04	20:42			0.0 KW				
06/23/04	20:45				0.0 KW			
06/23/04	20:48	0.0 KW	25.8 KW					
06/23/04	20:49					0.0 KW		
06/23/04	20:50						0.0 KW	
06/23/04	20:51							9.8 KW
06/23/04	20:52			0.0 KW				
06/23/04	20:55				13.2 KW			
06/23/04	20:58	0.0 KW	25.9 KW					
06/23/04	20:59					0.0 KW		
06/23/04	21:00						0.0 KW	
06/23/04	21:01							9.8 KW
06/23/04	21:02			0.0 KW				
06/23/04	21:05				13.2 KW			
06/23/04	21:08	0.0 KW	25.9 KW					
06/23/04	21:09					0.0 KW		
06/23/04	21:10						0.0 KW	
06/23/04	21:11							9.8 KW
06/23/04	21:12			0.0 KW				

DATE	TIME	[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
06/24/04	17:52			0.0 KW				
06/24/04	17:55		25.7 KW		12.9 KW			
06/24/04	17:58	0.0 KW				0.0 KW		
06/24/04	17:59						0.0 KW	
06/24/04	18:00							9.7 KW
06/24/04	18:01			0.0 KW				
06/24/04	18:02				12.9 KW			
06/24/04	18:05							
06/24/04	18:08	0.0 KW	25.5 KW			0.0 KW		
06/24/04	18:09						0.0 KW	
06/24/04	18:10							9.6 KW
06/24/04	18:11			0.0 KW				
06/24/04	18:12				12.8 KW			
06/24/04	18:15							

DATE	TIME	[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
06/24/04	18:18	0.0 KW	25.5 KW					
06/24/04	18:19					0.0 KW		
06/24/04	18:20						0.0 KW	
06/24/04	18:21							9.6 KW
06/24/04	18:22			0.0 KW				
06/24/04	18:25				13.0 KW			
06/24/04	18:28	0.0 KW	25.7 KW					
06/24/04	18:29							
06/24/04	18:30					0.0 KW		
06/24/04	18:31							
06/24/04	18:32						0.0 KW	
06/24/04	18:35			0.0 KW				
06/24/04	18:38							
06/24/04	18:39							
06/24/04	18:40	0.0 KW	25.5 KW		12.9 KW			
06/24/04	18:41					0.0 KW		
06/24/04	18:41						0.0 KW	9.7 KW



06/24/04	18:42			0.0 KW				
06/24/04	18:45				12.9 KW			
06/24/04	18:48	0.0 KW	25.7 KW					
06/24/04	18:49					0.0 KW		
06/24/04	18:50						0.0 KW	
06/24/04	18:51							9.7 KW
06/24/04	18:52			0.0 KW				
06/24/04	18:55				13.0 KW			
06/24/04	18:58	0.0 KW	25.8 KW					
06/24/04	18:59					0.0 KW		
06/24/04	19:00						0.0 KW	
06/24/04	19:01							9.7 KW
06/24/04	19:02			0.0 KW				
06/24/04	19:05				13.0 KW			
06/24/04	19:08	0.0 KW	25.7 KW					
06/24/04	19:09					0.0 KW		
06/24/04	19:10						0.0 KW	
06/24/04	19:11							9.8 KW
06/24/04	19:12			0.0 KW				
06/24/04	19:15				13.0 KW			
06/24/04	19:18	0.0 KW	25.8 KW					
06/24/04	19:19					0.0 KW		
06/24/04	19:20						0.0 KW	
06/24/04	19:21							9.8 KW
06/24/04	19:22			0.0 KW				
06/24/04	19:25				13.2 KW			
06/24/04	19:28	0.0 KW	25.8 KW					
06/24/04	19:29					0.0 KW		
06/24/04	19:30						0.0 KW	

TREND: SAMPLED DATA

08/04/04 11:26:20

Display Range: 06/23/04 20:00 - 06/24/04 20:00

[0]= HGY:UNI:GCM:ZONE2_3_UIAV1 - C:\SIGNAL\SAMPDATA\bah1.STF
 [1]= HGY:UNI:GCM:ZONE2_3_UIAV2 - C:\SIGNAL\SAMPDATA\bah2.STF
 [2]= HGY:UNI:GCM:ZONE2_3_UIAV3 - C:\SIGNAL\SAMPDATA\t1.STF
 [3]= HGY:UNI:GCM:ZONE2_3_UIAV4 - C:\SIGNAL\SAMPDATA\t2.STF
 [4]= HGY:UNI:GCM:ZONE2_3_UIAV5 - C:\SIGNAL\SAMPDATA\bac1.STF
 [5]= HGY:UNI:GCM:ZONE2_3_UIAV6 - C:\SIGNAL\SAMPDATA\bac2.STF
 [6]= HGY:UNI:GCM:ZONE2_3_UIAV7 - C:\SIGNAL\SAMPDATA\bac3.STF

FUNCTIONS	[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
MAX VALUES	0.0 KW	26.0 KW	0.0 KW	13.2 KW	0.0 KW	0.0 KW	9.8 KW
MAX VAL. DATES	06/24/04	06/23/04	06/24/04	06/24/04	06/24/04	06/24/04	06/24/04
MAX VAL. TIMES	19:58	20:18	19:52	19:25	19:59	20:00	19:51
MIN VALUES	0.0 KW	25.5 KW	0.0 KW	0.0 KW	0.0 KW	0.0 KW	9.6 KW
MIN VAL. DATES	06/24/04	06/24/04	06/24/04	06/24/04	06/24/04	06/24/04	06/24/04
MIN VAL. TIMES	19:58	18:38	19:52	16:45	19:59	20:00	18:21
AVG VALUES	0.000000	25.660145	0.000000	10.315217	0.000000	0.000000	9.684058
NUM OF VALUES	138	138	138	138	138	138	138
SUM OF VALUES	0.000000	3541.10000	0.000000	1423.50000	0.000000	0.000000	1336.40000
ON VALUES							
OFF VALUES							



**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE ENFRIADORES,
TORRES DE ENFRIAMIENTO, BOMBAS DE AGUA
HELADA Y BOMBAS DE AGUA DE CIRCULACIÓN**

1. ENFRIADORES

	CHILLER 1		CHILLER-2	
MARCA	YORK		YORK	
MODELO	YRVDVBTO-17A		YRVDVBTO-17A	
SERIE	SHMM-056220		SHMM-056350	
TR	185		185	
VOLTS	208/3/60		208/3/60	
REFRIGERANTE 134a	900 Lb		900 Lb	
	DATOS DE DISEÑO			
	EVAPORADOR	CONDENSADOR	EVAPORADOR	CONDENSADOR
PASOS	2	2	2	2
PRESION DE TRABAJO	150	150	150	150
FACTOR DE INCRUSTACION	0.0001	0.00025	0.0001	0.00025
CAIDA DE PRESION	24.4	8.9	24.4	8.9
ARREGLO DE BOQUILLAS DE ENTRADA	C	T	C	T
ARREGLO DE BOQUILLAS DE SALIDA	B	U	B	U
TEMP. SALIDA DEL AGUA (F)	44.0	94.5	44.0	94.5
TEMP. RETORNO DEL AGUA (F)	50.6	85.0	50.6	85.0
GPM	675	555	675	555
TUBOS	181	225	181	225

	DATOS ACTUALES			
	93.1	61.7	86.7	42.5
PRESION DE ACEITE (psig)	93.1	61.7	86.7	42.5
GPM TOTAL (PORQUE ESTAN EN SERIE)	641.0			
TEMP. DESCARGA (F)	114.7	111.2	111.7	96.5
PORCENT. CARGA (%)	82.0	83.0	81.0	84.0
TEMP. CONDENSACION SALIDA (F)	82.3	86.9	80.3	88.8
TEMP. CONDENSACION RETORNO (F)	77.8	85.6	75.1	74.1
TEMP. AGUA SALIDA (F)	42.3	47.4	44.7	54.2
TEMP. AGUA RETORNO (F)	47.1	49.1	48.9	50.8
PRESION DIFERENCIAL (psig)	64.7	66.4	47.5	45.0
PRESION CONDENSADOR (psig)	106.0	108.3	90.4	88.0
SATURACION CONDENSADOR (F)	90.6	92.2	82.3	80.9
PRESION EVAPORADOR (psig)	36.3	43.0	38.6	41.2
SATURACION EVAPORADOR (F)	41.4	47.8	43.7	46.0
DIFERENCIA PEQUE ÑA TEMP. EVAPORADOR (F)	0.8	0.2	1.1	2.0
TEMP. REFRIGERANTE EVAPORADOR (F)	41.7	47.3	43.8	41.4
DIFERENCIA PEQUE ÑA TEMP. CONDENSADOR (F)	1.2	5.5	2.2	1.8
DIFERENCIA PEQUE ÑA TEMP. CONDENSADOR (F)	79.7	76.1	76.9	69.2
TEMP.SUBENFRIAMIENTO (F)	6.7	18.5	5.6	11.8
NIVEL DE REFRIGERANTE (%)	40.0	29.0	53.0	31.0
AJUSTE (%)	50.0	47.0	50.0	50.0
SOBRECALENTAMIENTO (F)	25.4	19.1	29.1	27.6
PRESION DE DESCARGA (psig)	98.5	117.8	93.4	90.9
DIFERENCIAL DE PRESION EN FILTRO (psig)	3.7	4.2	6.6	5.4

2. TORRES DE ENFRIAMIENTO

MARCA	EVAPCO		EVAPCO	
MODELO	USS 29-421		USS 29-421	
SERIE	1031337		1031337	
	DISEÑO	ACTUAL	DISEÑO	ACTUAL
GPM	675		675	
ENTRADA DE AGUA F	95	81	95	81
SALIDA DE AGUA F	85	76	85	76
MOTOR				
SERIE	608-02203124-GT-02		608-02203124-GT-01	
HP	15		15	
RPM	1775		1775	
VOLTS	200/3/60		200/3/60	
DATOS ACTUALES				
AMPS	39.4		37.1	
KW	14.0		12.8	

3. BOMBAS DE AGUA HELADA

BOMBA No.	BH-1	BOMBA No.	BH-2
MARCA	ARMSTRONG	MARCA	ARMSTRONG
MODELO	4030 6x5x11,5		4030 6x5x11,5
CONSTRUCTION	BF-STD		BF-STD
No. SERIE	483185	No. SERIE	483186
DATOS DE PLACA		DATOS DE PLACA	
GPM	675	GPM	675
FT	125	BHP	125
MOTOR FRAME	286 T	MOTOR FRAME	286 T
TIPO	FD		FD
ENCLOSURE	DP		DP
HP	30	HP	30
RPM	1800	RPM	1800
AMPS	35 / 71 / 78	AMPS	35 / 71 / 78
VOLTS	460 / 230 / 208	VOLTS	460 / 230 / 208
SERIE	60341073381-003R-01		60317281-20PH-039
DATOS ACTUALES		DATOS ACTUALES	
AMPS	77.1	AMPS	76.9
KW	25.4	VOLTS	

4. BOMBAS DE AGUA DE CIRCULACION

BOMBA No. MARCA		BC-1 ARMSTRONG 4030 5x4x8		BOMBA No. MARCA		BC-2 ARMSTRONG 4030 5x4x8		BOMBA No. MARCA		BC-3 ARMSTRONG 4030 5x4x8	
MODELO No. SERIE		483457		No. SERIE		483457		No. SERIE		483457	
DATOS DE PLACA				DATOS DE PLACA				DATOS DE PLACA			
GPM	529	GPM	529	GPM	529	GPM	529	GPM	529	GPM	529
FT	60	BHP	60	BHP	60	BHP	60	BHP	60	BHP	60
MOTOR FRAME	254 T	MOTOR FRAME	254 T	MOTOR FRAME	254 T	MOTOR FRAME	254 T	MOTOR FRAME	254 T	MOTOR FRAME	254 T
HP	15	HP	15	HP	15	HP	15	HP	15	HP	15
RPM	1800	RPM	1800	RPM	1800	RPM	1800	RPM	1800	RPM	1800
AMPS	38,8 / 35,1 / 17,6	AMPS	38,8 / 35,1 / 17,6	AMPS	38,8 / 35,1 / 17,6	AMPS	38,8 / 35,1 / 17,6	AMPS	38,8 / 35,1 / 17,6	AMPS	38,8 / 35,1 / 17,6
VOLTS	208 / 230 / 460	VOLTS	208 / 230 / 460	VOLTS	208 / 230 / 460	VOLTS	208 / 230 / 460	VOLTS	208 / 230 / 460	VOLTS	208 / 230 / 460
SERIE No.	F06360250011	SERIE No.	F06360250011	SERIE No.	F06360250080	SERIE No.	F06360250080	SERIE No.	F06360250005	SERIE No.	F06360250005
DATOS ACTUALES				DATOS ACTUALES				DATOS ACTUALES			
AMPS	27.18	AMPS	27.18	AMPS	27.3	AMPS	27.3	AMPS	27.1	AMPS	27.1
KW	9.8	VOLTS	9.8	VOLTS		VOLTS		VOLTS		VOLTS	



BIBLIOGRAFÍA

1. TAO WILLIAM, JANIS RICHARD, Mechanical and Electrical systems in Buildings, (2da. Edición: New Jersey, Prentice Hall, 2001).
2. OLIVARES JOSÉ, La ingeniería en edificios de alta tecnología, (España, M^o Graw Hill, 1999).
3. HARTMAN THOMAS B., Direct Digital Controls for HVAC Systems, (Seattle, Washington, McGraw Hill 1993).
4. DEGARMO, SULLIVAN Y CANADA, Engineering Economy, (7ma. Edición: New York, Macmillan Publishing company, 1984).
5. THE TRANE COMPANY, Tracer Summit, (St. Paul, Minnesota, The Trane Company, 1997, Volumen 1).
6. INVENSYS BUILDING SYSTEMS, Signal user interface, (Invensys Building systems, USA, 1998).

7. HAINES, ROGER W., HVAC systems design handbook, (1ra. Edición, Blue Ridge Summit, PA, Tab Books Inc., 1988).
8. MCQUISTON, FAYE, PARKER, JERALD, Heating, Ventilating and Air Conditioning Analysis and Design, (2da. Edición, New York, John Wiley & Sons, 1977).
9. ASHRAE, Chapter 7 Health Care Facilities (Atlanta, USA, 1985)
10. ASHRAE, Chapter 20 Humidifiers (Atlanta, USA, 1985)
11. ASHRAE, Chapter 32 Energy Management (Atlanta, USA, 1985)
12. YORK, Max E Rotary screw liquid chillers (USA, 2004)
13. BALLADARES Y ASOCIADOS S.A., Especificaciones Técnicas Aire Acondicionado y Ventilación Hospital Universitario Unidad Ginecológica (Ecuador, 2002)
14. DWYER INSTRUMENTS, INC. Series 1900 Pressure Switch Installation and Operating Instructions (Michigan city, USA, 2004)



15. YORK, Split-system air-cooled Condensing Units (USA, 2004)
16. VERIS INDUSTRIES HD Series Digital RH & RH/T Transmitters
(Portland, USA, 2004)
17. INVENSYS BUILDING SYSTEMS, Microzone II DDC Controller
Installation Instructions, (Invensys Building systems, USA, 1998).
18. ENERGY EQUIPMENT & CONTROL INC., Advantages of Direct
Digital Controls (EECI, USA, 2004)
19. BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, Informe sobre la Inflación,
(Ecuador, 2003)
20. ARGUDO VICENTE C, Calidad medioambiental del aire en espacios
cerrados (IAQ), (México, 2003)
21. SÁNCHEZ FRANCISCO V., "Reducción del Consumo de Energía
Eléctrica en la Climatización de un Edificio de Múltiples Propósitos:
Sistema de Planta Central" (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica
y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral,
1996)