



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD PROFESIONAL CULCHUACAN

**“DESARROLLO DE UN CONTROL PARA CAJAS VAV CON
INTEROPERABILIDAD EN SISTEMAS DE AIRE
ACONDICIONADO CON PROTOCOLO BACNET”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA**

P R E S E N T A N:

ALFONSO RIVERA LOPEZ

ROBERTO RAMIREZ RODRIGUEZ

ASESORES:

**ING. RUBEN MARCHAND ORTEGA
M. EN C. ORLANDO BELTRAN NAVARRO**



MÉXICO D.F.

DICIEMBRE 2006

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo representa una sucesión de intentos por lograr presentar una propuesta real aplicable a campo y viable económicamente que nos permitiera tener una contribución a los estudios recibidos, a la industria en la que nos desarrollamos y sobre todo la satisfacción de concluir la última etapa de nuestros estudios el titularnos, durante años buscamos hacerlo en forma independiente sin resultado alguno, el tiempo nos reunió y compartimos experiencias que nos permitieron coincidir en una solución para entonces desarrollar un trabajo colectivo con el fin de lograr nuestra titulación.

Quiero expresar mi agradecimiento a mis padres por el apoyo brindado a lo largo de mis estudios la libertad de elección y el sentido de responsabilidad, a mis hermanos por el apoyo en las épocas difíciles a mi familia Martha mi esposa por darme el espacio para dedicar e invertir tiempo en este proceso por ser un factor de empuje para seguir adelante y no claudicar, por cada año que no se lograba el resultado y sobre todo por la colaboración en esta última fase para desarrollar este trabajo, a mi hija Paola por soportar los fines de semana que dejamos de convivir y los momentos que tuvimos que posponer para llegar a este día.

Roberto

A lo largo de más 14 años, en busca de obtener mi título como Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica, he trabajado en ello tomando seminarios de titulación e iniciando proyectos de tesis los cuales los he dejado inconclusos por compenetrarme de lleno en el ámbito profesional y laboral, sin embargo esto es una meta propuesta la cual estoy viendo consolidada con este trabajo.

Agradezco en primera instancia a mis padres Conchita y Juve, quienes me dieron la oportunidad de estudiar una carrera, apoyándome en todas mis necesidades para poder concluir mis estudios. También a todos quienes han compartido conmigo la vida, apoyándome de una u otra forma en tiempo o presionándome para culminar mi titulación. A mi hermanos, Hanín y Adolfo, a mi esposa Lucy por disponer de tiempo de familia para poder dedicarme a elaborar este trabajo. A mis hijos Areli, Alan y Andrés, quienes son mi adoración. A mi amigo Roberto por su apoyo y colaboración y porque no, por sus presionarme y por participar conmigo al desarrollo de esta Tesis y a su esposa Martha quien puso su mayor esfuerzo apoyándonos en lograr este trabajo.

Alfonso

De manera conjunta agradecemos a nuestro asesores, el ing. Rubén Marchand quien nos brindo su apoyo para el desarrollo de esta Tesis, así como también al M- en C. Orlando Beltrán quien dedicó su tiempo para revisar y concluir este trabajo.

A los miembros del Jurado ing. Jorge Díaz, ing. José García y la ing. Patricia Cortés, quienes dedicaron parte de su tiempo para la revisión de esta Tesis.

Alfonso y Roberto

INDICE

	PAG.
INTRODUCCION	1
OBJETIVO GENERAL	2
JUSTIFICACION	2
1. FUNDAMENTOS DE AIRE ACONDICIONADO	3
1.1. Breve historia del Aire Acondicionado	3
1.2. Confort Humano	5
1.2.1. La carta de confort.	6
1.3. Psicrometría	7
1.3.1. Aire Acondicionado.	8
1.3.2. Los siete procesos del aire acondicionado	9
1.3.3. Los principales usos del aire acondicionado	10
1.4. Aire evaporativo	11
1.5. Sistemas de aire acondicionado.	12
1.6. El sistema completo	13
1.6.1. Sistema Central de HVAC	14
1.6.2. Sistema Secundario de HVAC	14
1.7. Tipos de sistemas de acondicionamiento de aire	15
1.7.1. Sistemas todo aire: una vía y doble vía	15
1.7.2. Sistemas aire-agua	16
1.7.3. Sistema solo agua	17
2. DISTRIBUCIÓN DEL AIRE	25
2.1. Introducción	25
2.2. Ductos	25
2.2.1. Métodos de cálculos de ductos	28

2.3. Filtración	28
2.3.1. Tipos de filtros	29
2.4. Sistemas de volumen constante	31
2.4.1. Métodos de control	32
2.5. Sistemas de volumen de aire variable	32
2.5.1. Cajas de volumen de aire variable	34
2.5.2. Rejillas y difusores	35
2.6. Tipos de cajas de volumen de aire variable	37
2.6.1. Cajas de ducto sencillo	38
2.6.2. Cajas con ventilador serial	38
2.6.3. Cajas con ventilador paralelo	39
2.6.4. Cajas con doble ducto	40
2.7. Método de control por presión dependiente	42
2.8. Método de control por presión independiente	42
3. FUNDAMENTOS DE CONTROL	44
3.1. Introducción	44
3.2. Breve historia del control	44
3.3. ¿Que es control?	47
3.4. Características de los sistemas de control automático HVAC	49
3.5. Sistema de control electrónico	49
3.6. Sistema de control basado en microprocesador	50
3.7. Control basado en computadora	50
3.8. Variables controladas	51
3.9. Lazos de control	51
3.10. Modos de Control	53
3.10.1. Controlador todo/nada	54
3.10.2. Control Proporcional	55
3.10.3. Control Integral	56
3.10.4. Control Derivativo	57
3.11. Puntos de Control	58

4. SISTEMAS DE CONTROL PARA CAJAS DE VOLUMEN DE AIRE VARIABLE

4.1. Introducción	61
4.2. Métodos de control	61
4.2.1. Control Independiente (Stand-alone)	61
4.2.2. Control en red o integrado	62
4.3. Tipos de control para cajas VAV	63
4.3.1. Neumático	63
4.3.1.1. Requerimientos para un sistema de control Neumático	63
4.3.2. Analógico o Eléctrico	64
4.3.2.1. Requerimientos para un sistema de control Analógico o Eléctrico	64
4.3.3. Digital	65
4.3.3.1. Requerimientos para un sistema de control Digital	65
4.4. Sistema de Administración de Energía(EMS)	66
4.4.1. Interfaces del operador	67
4.4.2. Arquitectura	67
4.4.3. Comunicación en red de área local (LAN)	67
4.4.4. Interfase de red de área local y amplia	69
4.4.5. Arquitectura auto respuesta/auto marcado	72
4.4.6. Interfases de terceros (Third Party Interfaces)	74
4.5. Protocolos de comunicación	75
4.5.1. Protocolo cerrado propietario	75
4.5.2. Protocolo abierto propietario (Profibus, Lonworks)	76
4.5.3. Protocolo abierto estándar (Modbus, BACNet)	78
4.6. Interoperabilidad	79
4.6.1. Funciones del sistema para interoperabilidad	80
4.6.2. Especificando Interoperabilidad	81

5. IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROLADOR PARA CAJAS VAV CON PROTOCOLO BACNet

82

5.1. Introducción	82
5.2. El mercado de cajas VAV en México	83
5.3. Controlador para VAV	83

5.3.1. Aplicación	84
5.3.2. Modo de Operación.	86
5.3.3. Funciones: Ajuste de flujo volumétrico de operación	89
5.4. Programa PC-TOOL Para el Fabricante de equipo original	93
5.5. Desarrollo del Producto Final	96
5.5.1. Determinación del valor “k”	97
5.5.2. Desarrollo del termostato para el controlador CA-VAV con protocolo BACNet	106
5.6. Producto Final	109
5.6.1. Especificaciones.	109
5.6.2. Manual de operación	110
5.6.3. Lista de Objetos	111
5.7. Conclusiones	112

GLOSARIO	113
---------------------------	------------

BIBLIOGRAFÍA	116
-------------------------------	------------

INTRODUCCION

Hablar de aire acondicionado implica hablar de múltiples equipos y sistemas, los cuales se integran de diversas maneras para conformarse como una solución que brinde confort y una operación eficiente. Dentro de la gran variedad de sistemas que pueden involucrar a un sistema de aire acondicionado se encuentran los sistemas de control, los cuales juegan uno de los papeles más importantes dentro de los sistemas de aire acondicionado gracias a los grandes adelantos tecnológicos que tenemos en la actualidad como son la digitalización y la integración electrónica, la cual ha permitido llevar de una manera muy sencilla la operación, control y mantenimiento de múltiples equipos desde una terminal portátil hasta una estación de trabajo que supervisa la operación de todo un edificio.

En la presente tesis se pretende proponer las bases para el diseño un controlador para compuertas o cajas de volumen de aire variable (VAV) con protocolo de comunicación BACNet (Building Automation and Control Networking protocol, protocolo de comunicación para Automatización y Control de Edificios), para ser implementado por un fabricante de actuadores en aplicaciones de control de compuertas VAV.

Como base para este proyecto, en el capítulo I se exponen los fundamentos de aire acondicionado, en donde se hará una breve semblanza histórica del aire acondicionado así como se describen los conceptos básicos del mismo, las aplicaciones y diversos sistemas de aire acondicionado que existen.

En el capítulo II, dado que el enfoque de esta tesis es controlar las compuertas de aire variable, se explica el tema de distribución del aire, mencionando las dos formas de distribución de aire: los sistemas de volumen de aire constante y los sistemas de volumen de aire variable. Debido a que los sistemas de aire acondicionado están interrelacionados con los sistemas de control, en el capítulo III se expone una breve historia del control así como también los conceptos básicos, modos de control, tipos de señales de control y equipos periféricos como sensores y actuadores. En el capítulo IV trataremos el tema de los tipos de control en las cajas de volumen de aire variable, comenzando con el control en “modo independiente”, traducción que se le ha nombrado del ingles: “stand-alone”, así como los controles con interoperabilidad mencionando los diversos protocolos incluyendo el protocolo BACNet. En el capítulo V se hace la implementación del proyecto basado en la información del mercado para esta aplicación presentando el diseño del controlador para cajas VAV.

OBJETIVO GENERAL

Se pretende proponer un sistema de control para cajas VAV con protocolo abierto BACNet en sistemas de aire acondicionado, que permita la integración sencilla, funcional y económica dentro de un sistema automatizado en edificios o comercios. Siendo esta una opción atractiva para proyectistas, instaladores, inversionistas, y usuarios.

JUSTIFICACION

Los sistemas de control en equipos de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC – Heating, Ventilating and Air Conditioning por sus siglas en inglés) ofrecen una línea muy amplia de aplicaciones, cientos de compañías ofrecen controladores rápidos, compactos y versátiles pero desafortunadamente solo pueden comunicarse entre ellos mismos, esto los hace conocerse como protocolos propietarios, donde cada fabricante desarrolla sobre esta plataforma propia software e interfases de usuario que permiten visualizar este protocolo propietario. Para los usuarios esto ha sido un dilema ya que buscan un sistema de control integrado que sea versátil, adaptable, económico y capaz de ínter operar con otros sistemas de tal forma que no tengan que dependen de una sola marca o fabricante. En un esfuerzo por integrar las comunicaciones en una sola plataforma, desde 1994 se han establecido asociaciones que buscan establecer una plataforma estándar de comunicación que permita a todos los fabricantes comunicarse entre si y hablar el mismo lenguaje.

Esto da como resultado un beneficio mayor que es la interoperabilidad, donde no solo el equipo HVAC de diferentes fabricantes puede hablar el mismo lenguaje sino otros subsistemas como el control de acceso, Circuito Cerrado de Televisión (CCTV), sistemas de transportación vertical y horizontal, detección de humos etcétera pueden integrarse a esta plataforma y hacer que los edificios inteligentes sean muy sencillos de administrar. Los principales protocolos standard o abiertos son Lonworks, BACNet y Modbus (mas enfocado al área industrial para el control y automatización de procesos de producción). Este trabajo pretende colaborar ofreciendo un controlador universal para cajas VAV en sistemas HVAC que permita integrar BACNet de manera directa sin utilizar un traductor de protocolo propietario a protocolo abierto de manera que sea más sencillo y rápido configurar e implementar en campo así como más económico al usuario final.

CAPITULO I

1. FUNDAMENTOS DE AIRE ACONDICIONADO.

1.1. BREVE HISTORIA DEL AIRE ACONDICIONADO.

Existe evidencia del uso de la evaporación del hielo para propósitos de enfriamiento desde tiempos antiguos; sin embargo, no fue sino hasta mediados del siglo XIX cuando se construyó la primera máquina de refrigeración práctica. El Aire acondicionado, hablando desde el punto de vista mecánico, realmente no existía hasta que los equipos de refrigeración fueron inventados en el siglo XIX. Mientras que los científicos aprendían más a cerca de las propiedades de los fluidos, las características físicas del movimiento del aire y las condiciones del confort humano, sus descubrimientos fueron empleados para mejorar el aire acondicionado. El primer sistema de refrigeración mecánico fue inventado en 1844 por el físico americano John Gorrie donde preocupado por la peste de la fiebre amarilla, se dedica a investigar las causas del mal. En sus investigaciones atribuye el mal a la alta temperatura del ambiente, razón que le hizo pensar en la primera maquina capaz de refrescar el aire la “no de pluma”, y obtuvo el registro de su patente el 6 de mayo de 1851, iniciando así, la carrera industrial del acondicionamiento del ambiente, este equipo se uso para enfriar cuartos de enfermos en un hospital en Florida. El sistema empleó un método del ciclo de ventilación de enfriamiento.

El hombre de negocios Alexander C. Twinning es reconocido como el iniciador de la refrigeración comercial en 1856. Subsecuentemente, el australiano James Harrison, introdujo la refrigeración por compresión de vapor en la industria de alimentos y bebidas empacados. En 1859 fue empleado un sistema más complejo empleando amoniaco el cual fue desarrollado por Ferdinand Carré en Francia. Willis Carrier en 1902, realiza el primer intento exitoso de reducir la humedad del aire y mantenerla a un nivel específico. Esto marcó el nacimiento del verdadero control del ambiente interior, tal como lo conocemos actualmente. Desde entonces los avances se han suscitado rápidamente.

Desde fines del siglo XIX ya se habían inventado elementos reguladores de temperatura para conseguir condiciones climáticas ideales. Para los años cuarenta, con la invención de los sistemas neumáticos, se diseñaron grandes redes para el control lógico y monitoreo de las zonas de ocupación desde puntos lejanos. En el panel central del sistema de control y monitoreo había una representación grafica de los sistemas de ventilación, aire y calefacción con luces que representaban el estado de los equipos logrando la supervisión de los sistemas desde una sola localización.

Los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC, por sus siglas en ingles) se instalaban y manejaban de manera independiente. La selección de operación de algunos de ellos dependía de la situación

climática del momento, por lo que se instalaban varios sistemas similares dentro de un solo edificio o construcción.

En la actualidad, los equipos de HVAC se están convirtiendo rápidamente en un motivo de interés mundial y esto está conduciendo a estrictas especificaciones en cuanto a los materiales y métodos empleados en los sistemas HVAC. Hay una creciente sofisticación entre el público consumidor, lo cual crea mayores demandas sobre el desempeño de los equipos y la confiabilidad de los sistemas. El confort se ha vuelto una necesidad que debe ser satisfecha por los propietarios de edificios y por los usuarios.

Los profesionales de la industria de HVAC enfrentan interesantes retos dentro de la sofisticación de los equipos terminales y de la proyección de sistemas eficientes para el mejor rendimiento y bajos costos dentro de este campo de trabajo. En la siguiente grafica vemos una línea de tiempo. Figura 1.1

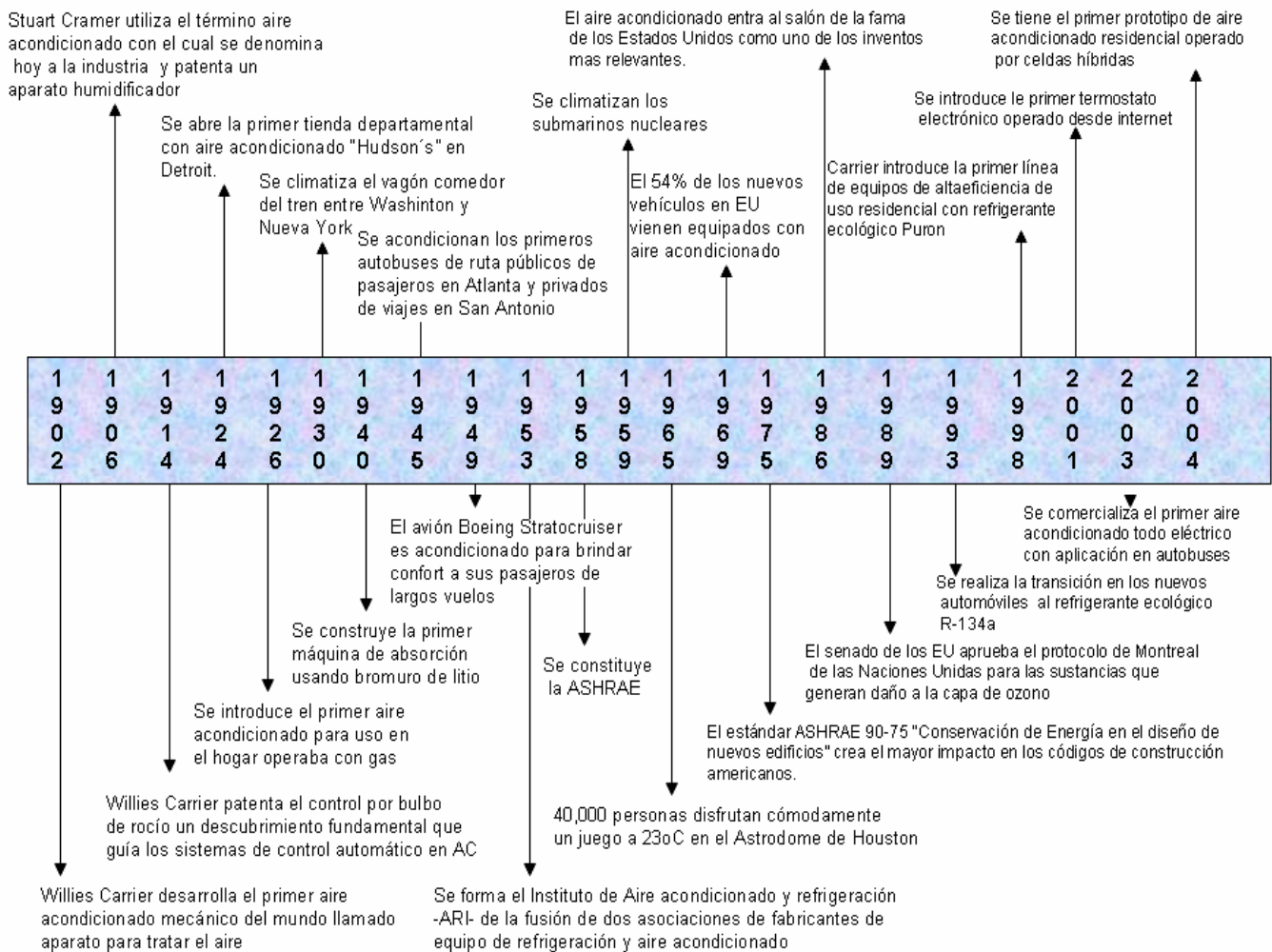


Figura: 1.1 LINEA DE TIEMPO DEL AIRE ACONDICIONADO.

1.2. CONFORT HUMANO.

Al paso del tiempo, el hombre ha buscado modificar el medio que lo rodea en todas las áreas para tener una vida más saludable y confortable. Esta búsqueda se ha traducido en el desarrollo de tecnología capaz de satisfacer sus necesidades.

Así, todo ser humano reconoce y aprecia las comodidades que proporcionan los modernos sistemas de aire acondicionado. Muchos de los hogares y la mayoría de las oficinas e instalaciones comerciales no serían confortables si no contaran con un sistema de control permanente del ambiente interior. La denominación de “artículo de lujo” con lo que se etiquetaba a los equipos de aire acondicionado antes de la Segunda Guerra Mundial ha dado paso a otra que aprecia su lado práctico para hacer más saludables y productivas nuestras vidas, además del incremento del confort humano, pronto se volvió evidente que en un medio apropiadamente controlado los bienes se podían producir de mejor manera, más rápido y más económicamente. De hecho, muchos de los productos actuales no podrían fabricarse si no se dispusiera de instalaciones con un ambiente cuya temperatura, humedad y calidad del aire pueden ser controlados dentro de límites precisos.

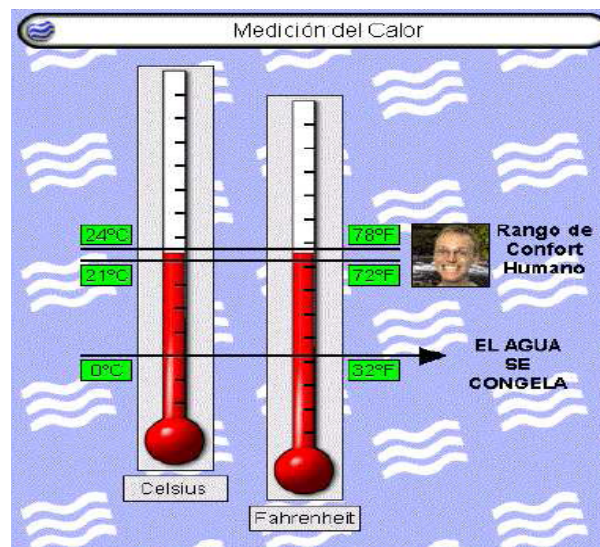


Figura: 1.2 EI RANGO DE CONFORT HUMANO.

Uno de los principales puntos de interés de la industria **HVAC** es el confort. La experiencia ha demostrado que un solo conjunto de condiciones ambientales no puede proporcionar pleno confort a toda la gente presente en un recinto (ver figura 1.2). El confort implica el control de la temperatura, la humedad, el movimiento del aire y de las fuentes radiantes que interactúan con los ocupantes de dicho espacio. Los olores desagradables, el polvo (partículas suspendidas), el ruido y la vibración son factores adicionales que pueden hacer que los ocupantes del mismo se sientan incómodos. Un sistema de **HVAC** bien diseñado puede mantener estas variables dentro de los límites especificados por el cliente, por los reglamentos de construcción y por un criterio de ingeniería adecuado.

Los parámetros que afectan el confort son los siguientes:

➤ **Condiciones Fisiológicas.**

Las variables personales que influyen en el confort son:

- La actividad física
- La vestimenta
- La temperatura del cuerpo
- La energía metabólica

➤ Condiciones Ambientales.

Los factores ambientales que afectan el balance térmico de una persona y que, por lo tanto, influyen en el confort térmico son:

- La temperatura de bulbo seco del aire circundante.
- La humedad del aire circundante.
- La velocidad relativa del aire circundante.
- La temperatura de toda superficie que incida directamente sobre cualquier parte del cuerpo y que de esta manera puedan intercambiar radiación.

1.2.1. LA CARTA DE CONFORT

La Asociación Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado - ASHRAE – por sus siglas en inglés ha graficado en una carta psicrométrica el rango aceptable de temperatura y humedad basado en los niveles de actividad y vestimenta en un ambiente típico de oficina. Estos datos permiten al diseñador seleccionar las condiciones de operación que deberán alcanzar con la regla de confort del 80/20. Los resultados en el ángulo de los límites superior e inferior muestran la temperatura efectiva. El impacto de la vestimenta se pueden ver en la diferencia en los valores límites siendo diferentes para verano e invierno.

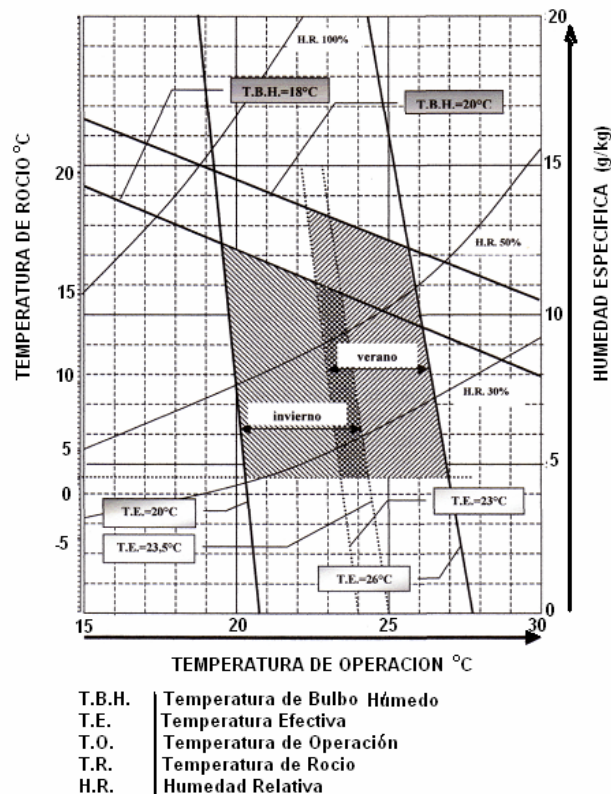


Figura: 1.3 GRAFICA DE CONFORT ASHRAE

En la figura 1.3 podemos apreciar que la línea no se extiende arriba del 60% de humedad relativa (HR) u 84 granos. Por arriba del 60% de HR, el confort es usualmente comprometido y existe el potencial para el crecimiento de moho y el empobrecimiento de la calidad de aire interior. Una línea punteada a 2 °C de

bulbo de rocío representa la meta de diseño para limitar la cantidad de humedad en el espacio. Sin embargo la actual curva de confort de ASHRAE ha removido el límite de requerimiento bajo debido a preocupaciones sobre la condensación en vidrios y paredes frías. Varios estudios han demostrado que manteniendo la humedad del espacio en la línea representada por los 2 °C de punto de rocío ayudará a evitar molestias asociadas con aire muy seco.

En resumen la carta nos indica.

- No se debe exceder el 60% de HR
- El límite bajo de HR no es requerido pero afecta el confort.
- Los códigos de energía requieren 2 °C de diferencia entre los puntos de ajuste (set-point) de enfriamiento y calefacción.

Un punto muy importante en la carta de confort es el flujo del aire en movimiento, cuando el flujo de aire se incrementa la evaporación crece y la temperatura se modifica de tal forma que la carta de confort puede ser definida en términos de la temperatura de acuerdo a la época del año, verano e invierno, y la velocidad del aire a la que se desea mantener el confort –temperatura y humedad del espacio- de esta forma en las gráficas de confort que generan los diseñadores debe ser especificado el volumen de aire a manejar y si este aire es turbulento o laminar y esto está ligado al tipo de actividad a desarrollar en cada proceso, un trabajo de oficina precisa de cierta cantidad de aire mientras que un trabajo en un gimnasio requiere otro flujo.

1.3. PSICROMETRIA

La historia de la psicrometría data de 1902 en una plataforma de tren en Pittsburgh, Pennsylvania; un joven ingeniero estaba trabajando en el diseño de un sistema de aire acondicionado para una planta de impresión en Brooklyn, Nueva York, que tenía un problema con la impresión del registro del color cuando esta prensa corría. La impresión de color se realizaba pasando el papel a través de varias prensas donde en cada una contenía un color primario la concentración de varios puntos de color daba como resultado imágenes a color, con los cambios en la humedad los papeles cambiaban dimensionalmente generando que los colores no fueran en línea haciéndolos de pobre calidad y generando mucho papel de desperdicio este joven ingeniero observó como el vapor condensaba sobre las superficies y determinó que había una relación entre la temperatura y la humedad. Conforme la temperatura caía observó que el aire retenía menos humedad, sugirió que una temperatura podía ser alcanzada donde el aire no pudiera retener más humedad y creó un concepto llamado dew point, este entendimiento del dew point le permitió resolver el problema de la imprenta así el joven ingeniero Willis Carrier entró al terreno matemático para describir el fenómeno que había observado esa noche y así nació la psicrometría.

Pero que es en realidad la psicrometría, es el estudio de las propiedades termodinámicas del aire húmedo, en otras palabras si el aire se va a acondicionar que cantidad de calor se debe agregar o remover o la cantidad determinada de humedad que se debe agregar o remover, esto es lo que estudia la psicrometría.

De este estudio se derivan una cantidad de fórmulas las cuales se plotearon en una carta conocida como carta psicrométrica. Esta carta es una de las más útiles herramientas con que cuenta un diseñador de sistemas para describir los procesos del aire acondicionado.

En resumen la carta psicrométrica tiene cinco usos.

- Determinar la temperatura a la cual ocurre la condensación en paredes y ductos.
- Encontrar las propiedades del aire húmedo a través del conocimiento de dos variables.
- Calcular el flujo de aire requerido en un espacio y el equipo que satisfaga esas cargas.
- Determinar la carga de enfriamiento total y sensible que la unidad acondicionadora debe proveer.
- Determinar el tipo de serpentín y la temperatura para cumplir las condiciones de carga de diseño.

Brevemente explicaremos los componentes de la carta psicrométrica.

En el eje horizontal se representa una escala de temperatura conocida como bulbo seco estas líneas se extienden verticalmente y representan un valor de temperatura que va desde 0 hasta 50 grados Centígrados, en la escala vertical el valor se obtiene de agua de vapor mezclado con cada libra de aire seco, como la cantidad de vapor de agua es pequeña la escala se traza en granos de agua de vapor por libra de aire seco a la presión atmosférica estándar, de esta forma la escala en el eje vertical se llama de humedad específica, tenemos otro punto que es el dew point o punto de saturación y se refiere al punto donde se tiene una humedad relativa del 100% entonces se dice que el punto esta saturado, esta línea es la exponencial en la gráfica y se conoce como línea de saturación. Otro elemento empleado en la gráfica es la temperatura de bulbo húmedo y esta es la temperatura a la cual el agua o el hielo al evaporarse en el aire pueden saturarlo a la misma temperatura. Esta línea se representa en forma diagonal. Si todas las líneas se cruzaran en la carta veríamos la siguiente gráfica. Donde tenemos siete valores posibles, de los cuales con solo saber dos podemos determinar el estado del aire en la gráfica a este punto se le conoce como punto de estado. En la siguiente Grafica veremos la Carta Psicrométrica. figura 1.4.

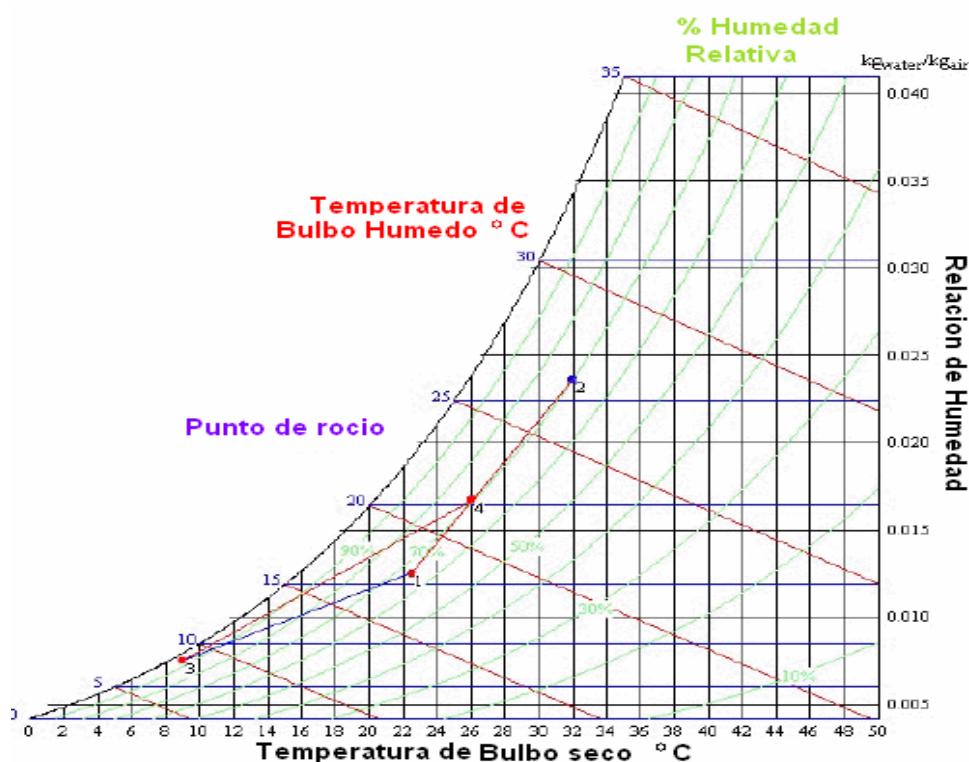


Figura: 1.4 GRAFICA CARTA PSICROMETRICA

1.3.1 AIRE ACONDICIONADO

El termino aire acondicionado fue asociado mucho tiempo con el enfriamiento del aire solamente, ahora esto ha cambiado, y la definición de aire acondicionado ha sido ampliada para incluir todo lo concerniente a los sistemas HVAC, lo cual significa Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado. Este significado dual de aire acondicionado algunas veces podría parecer confuso, pero cuando se menciona aire acondicionado por sí solo, éste se referirá tanto a la calefacción, como al enfriamiento, y cuando se usa en el contexto de HVAC, este significará únicamente enfriamiento. El uso de HVAC como un término descriptivo sigue existiendo debido a sus raíces históricas.

En su sentido moderno, aire acondicionado significa control de temperatura, grado de humedad, limpieza, calidad de aire y circulación de aire, según lo requieran los ocupantes, ya sea en forma de un proceso o un producto. Esta es una definición dada por Willis Carrier (1876-1950).

Hay muchas ideas arraigadas en la definición de Aire acondicionado que se han definido con el tiempo, con respecto a nuestra necesidad de modificar nuestro ambiente y la tecnología cambiante, lo cual ha logrado que el aire acondicionado sea posible. Es una definición de amplio criterio que explica la idea de condicionar el aire dentro de un espacio dado para algún propósito específico.

La siguiente idea describe de forma real la definición de aire acondicionado:

Imaginen una casa de campo en una noche fría y húmeda con el fuego encendido, una tetera con agua hirviendo, una chimenea para sacar el humo y una familia jugando en la sala. Esta escena ejemplifica una imagen real de lo que queremos decir con aire acondicionado.

Existe un espacio acondicionado en el que se utiliza el calor para elevar la temperatura, vapor para proveer humedad y ventilación a través de una chimenea para mantener la calida del aire. El control es tan sencillo como añadir otro leño al fuego o mantener las puertas y ventanas herméticamente cerradas. Los beneficiados son los ocupantes de la casa calentada. Se sienten mucho mas cómodos que si estuvieran afuera en el frío y pueden involucrarse en actividades que son más productivas que temblar de frío toda la noche.

Con el tiempo, cada uno de estos componentes se han ido depurando para ofrecer un control más eficiente de la temperatura, contenido de humedad y calidad del aire. Ahora existen mejores edificios, otras fuentes de calor, refrigeradores para ofrecer enfriamiento, ventiladores para mover el aire, filtros y equipos de control para realizar un eficiente control de la temperatura y los niveles de humedad. El aire acondicionado es el proceso por el cual mantenemos un ambiente confortable en el que los ocupantes del edificio pueden trabajar, jugar y vivir.

El aire acondicionado es esencial para nuestra salud y bienestar, ya sea en casa, el trabajo, al estar de compras o viajando de un lugar a otro. Esto implica calefacción, enfriamiento, humidificación, deshumidificación, ventilación, pureza del aire y el control de la calidad del aire en todas las etapas del año. A demás de ser tan importante para el ser humano, el aire acondicionado es crucial en muchos procesos industriales y de manufacturación. Los productos de ingeniería de alta precisión a menudo deben de elaborarse bajo estrictas condiciones controladas, que solo pueden lograrse mediante el aire acondicionado.

En resumen, el aire acondicionado se puede definir como:

“La necesidad de modificar y obtener un ambiente confortable dentro de un espacio cerrado o área de trabajo a través del control de la temperatura, humedad, limpieza y calidad del aire”.

1.3.2 LOS SIETE PROCESOS DEL AIRE ACONDICIONADO

Los siete principales procesos de los sistemas de aire acondicionado son: calefacción, enfriamiento, humidificación, deshumidificación, limpieza, ventilación y movimiento del aire, los cuales se definen a continuación: En la siguiente grafica veremos los siete procesos de aire acondicionado. (fig. 1.5)

- **El calentamiento** es el proceso de adición de energía térmica (calor) al aire en el espacio acondicionado para los propósitos de elevación o mantenimiento de la temperatura del aire.
- **El enfriamiento** es el proceso de remoción de energía térmica (calor) del aire en el espacio acondicionado para los propósitos de disminución o mantenimiento de la temperatura del aire.
- **La humidificación** es el proceso de adición de vapor de agua (humedad) al aire en el espacio acondicionado para los propósitos de elevación o mantenimiento del contenido de humedad del aire.

- **La deshumidificación** es el proceso de remoción de vapor de agua (humedad) del aire en el espacio acondicionado para los propósitos de disminución o mantenimiento del contenido de humedad en el aire.
- **La limpieza** es el proceso de remoción de partículas y sustancias biológicas contaminantes del aire en el espacio acondicionado para propósitos de depuración o mantenimiento de la calidad del aire.
- **La ventilación** es el proceso de intercambio de aire entre el espacio exterior y el espacio acondicionado con el propósito de diluir contaminantes gaseosos en el aire (interior) y mejorar o mantener la calidad, composición y frescura del aire acondicionado.
- **El movimiento del aire** es el proceso de circulación y mezcla del aire a través de espacios acondicionados en el edificio para los propósitos de lograr una ventilación apropiada y facilitar la transferencia de energía térmica, humidificación o deshumidificación así como los procesos de limpieza.

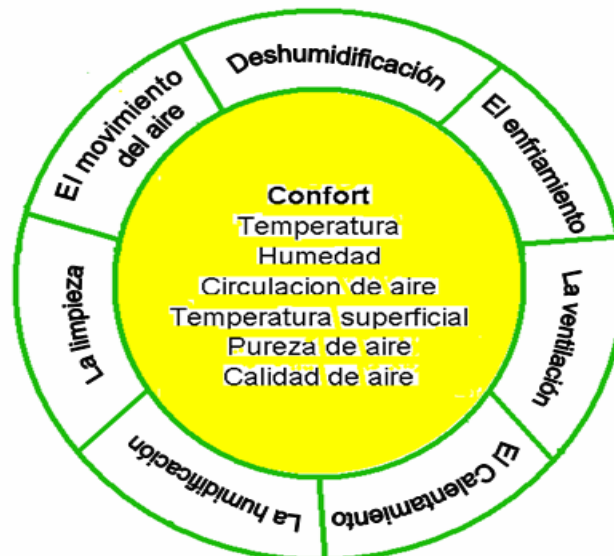


Figura: 1.5 LOS SIETE PROCESOS DEL AIRE ACONDICIONADO.

1.3.3 PRINCIPALES USOS DEL AIRE ACONDICIONADO.

El manual de ASHRAE de 1995 –Aplicaciones de HVAC- contiene los diversos usos del aire acondicionado, los cuales se mencionan a continuación para mostrar su versatilidad hoy en día.

- **Acondicionamiento de aire para confort.**
 - Residencias.
 - Tiendas de Autoservicio.
 - Edificios comerciales y públicos.
 - Lugares de asamblea.
 - Instalaciones domiciliarias.
 - Instalaciones educativas.
 - Instalaciones de salud.
 - Transportación terrestre.
 - Aeronaves.
 - Transportación marítima.

- **Aire acondicionado y ventilación industrial o especializada.**

- Aire acondicionado industrial.
- Instalaciones vehiculares cerradas.
- Sistemas de laboratorio.
- Instalaciones para prueba de maquinaria.
- Espacios limpios.
- Áreas de sistemas para procesamiento de datos (SAET).
- Imprentas.
- Industria textil.
- Materiales fotográficos.
- Control ambiental para animales y plantas.
- Secado y almacenaje de cosechas.
- Industria maderera y de productos de papel.
- Instalaciones nucleares.
- Ventilación del ambiente industrial.
- Ventilación de minas
- Sistemas de extracción industrial.
- Sistemas para secado industrial.
- Ventilación de cocinas.

1.4 AIRE EVAPORATIVO

El enfriamiento mediante los sistemas de aire evaporativo aprovecha el fenómeno natural de evaporación de agua para eliminar calor del aire. Este proceso adiabático convierte el calor sensible a calor latente, provocando una baja inicial en la temperatura de hasta 10 grados dependiendo de la temperatura y la resequedad del aire. Un equipo de aire evaporativo funciona al pasar aire seco a través de un medio húmedo como el agua y utiliza el calor del aire entrante para evaporarse por lo que el aire al salir es más fresco y húmedo.

Como ya hemos visto el proceso de enfriamiento evaporativo depende de agua y aire seco para alcanzar Condiciones óptimas de enfriamiento, por esto el funcionamiento del equipo de enfriamiento evaporativo es más eficiente en medios ambientes desérticos. En zonas desérticas del norte de nuestro país, como Coahuila, Sonora y Chihuahua los equipos evaporativos son utilizados en residencias, oficinas, plazas comerciales, Plantas industriales, etc. En la figura 1.6 veremos el procedimiento del aire evaporativo.

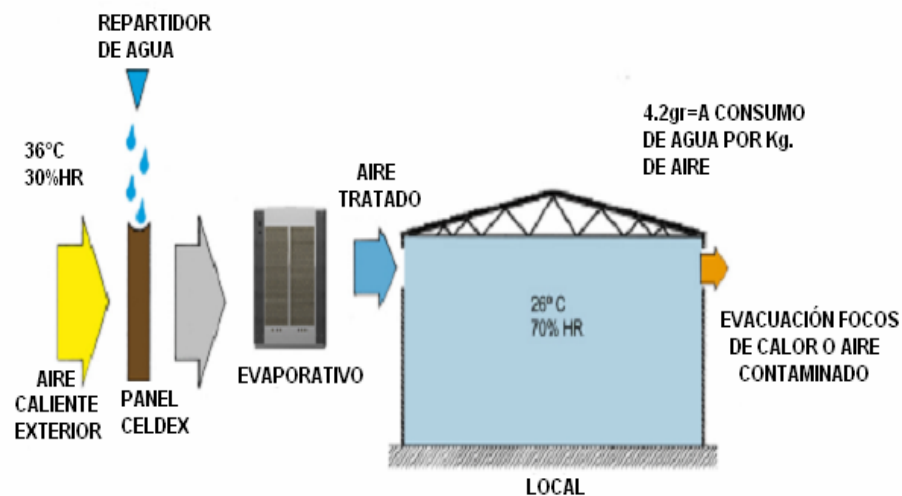


Figura: 1.6. SISTEMA DE AIRE EVAPORATIVO

En la figura 6 podemos observar un sistema de aire evaporativo. Un determinado caudal de aire a 36°C y con un 30% de humedad relativa es pasado a baja velocidad por el interior de un panel, denominado CELdek® o GLASdeck®, con una aportación de agua potable. El aire filtrado en el panel experimenta una disminución de temperatura y un incremento del grado de humedad con el cual ha pasado a una temperatura de 26°C y a un 70% de humedad relativa. Posteriormente este aire es impulsado al local para climatizar su interior.

Este sistema es totalmente ecológico ya que para ello no utiliza ningún tipo de gas refrigerante y el consumo eléctrico es mínimo, solo emplea un motor de bajo caballaje que mueve el aire al interior de la habitación, en comparación con los sistemas tradicionales de aire acondicionado para su funcionamiento sólo es necesaria una aportación de agua de la red general.

Existen tres consideraciones para determinar la capacidad de un aire evaporativo, esto tiene que ver con.

- Cálculo del espacio a enfriarse (volumen)
- Zona y clima ambiente promedio de la localidad
- Número de cambios por minuto

En este sistema el aire entra y debe salir de forma natural, esto es no se recircula, debiendo hacerse cambios de aire por minuto de acuerdo a cada región.

Debido a que el aire que se introduce usa la evaporación del agua este tipo de sistemas no se emplean en climas húmedos.

1.5 SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO

Los primeros sistemas de aire acondicionado que tenían equipo central proporcionaban sólo aire templado para propósitos de confort y ventilación, con una red de ductos y un tipo de control relativamente simples. En el momento en el que se decide añadir a este sistema equipo de enfriamiento, calefacción, humidificación y deshumidificación permitió proporcionar confort a lo largo del año y en todos los climas. Posteriormente se logra obtener un nivel homogéneo de confort mediante la división de los espacios a acondicionar en zonas con controles termostáticos individuales, aún cuando las necesidades de calefacción y enfriamiento no fueran uniformes entre las diferentes partes de un edificio, por lo tanto, esto condujo a la necesidad de instalar equipos y controles más sofisticados.

En la actualidad el diseño de un sistema de aire acondicionado se ha visto influenciado cada vez más por el énfasis en la calidad del aire interior, la conservación de la energía, el impacto ambiental, la seguridad y la economía.

Los objetivos principales de los sistemas de aire acondicionado son la generación y el mantenimiento del confort y salud para los ocupantes, o el suministro de una serie de condiciones para un proceso o producto en un espacio acondicionado. Las funciones básicas deseables de un sistema de aire acondicionado son:

- Proveer Calor.
- Variar el calor para satisfacer las variaciones de tiempo y espacio en la carga.
- Proveer enfriamiento.
- Variar el enfriamiento para satisfacer las variaciones de tiempo y espacio en la carga.
- Proveer la ventilación adecuada.
- Proveer la limpieza del aire (filtro).
- Humidificación / Deshumidificación.
- Integrarse con otros sistemas del edificio.

Los factores para un diseño que satisfaga la necesidad humana para el confort son muchos y variados. Los diseños para procesos y productos son igualmente variados, ya que los procesos son diferentes. El satisfacer

estas diversas condiciones ambientales requiere una amplia variedad de equipo de muchos tipos y tamaños. La forma en que estas piezas del equipo están unidas para trabajar como un todo, constituye el sistema.

Un sistema de aire acondicionado consta de todo el equipo necesario, controles y estrategias de operación requeridas para ofrecer el control ambiental deseado en un espacio destinado para un propósito específico.

Esto nos lleva a definir que los sistemas de HVAC se clasifican de acuerdo con los medios con que se operan y por la forma como se disponen los equipos, aún a pesar de que comparten elementos básicos comunes.

1.6 EL SISTEMA COMPLETO

Un sistema completo de HVAC incluye elementos primarios, secundarios y de control. Figura 1.7, el equipo primario esta localizado centralmente y el sistema secundario efectúa el trabajo de acondicionamiento donde se necesita. El control se ubica en diferentes áreas que por lo general se colocan dentro de las zonas a acondicionar y en el sistema secundario.

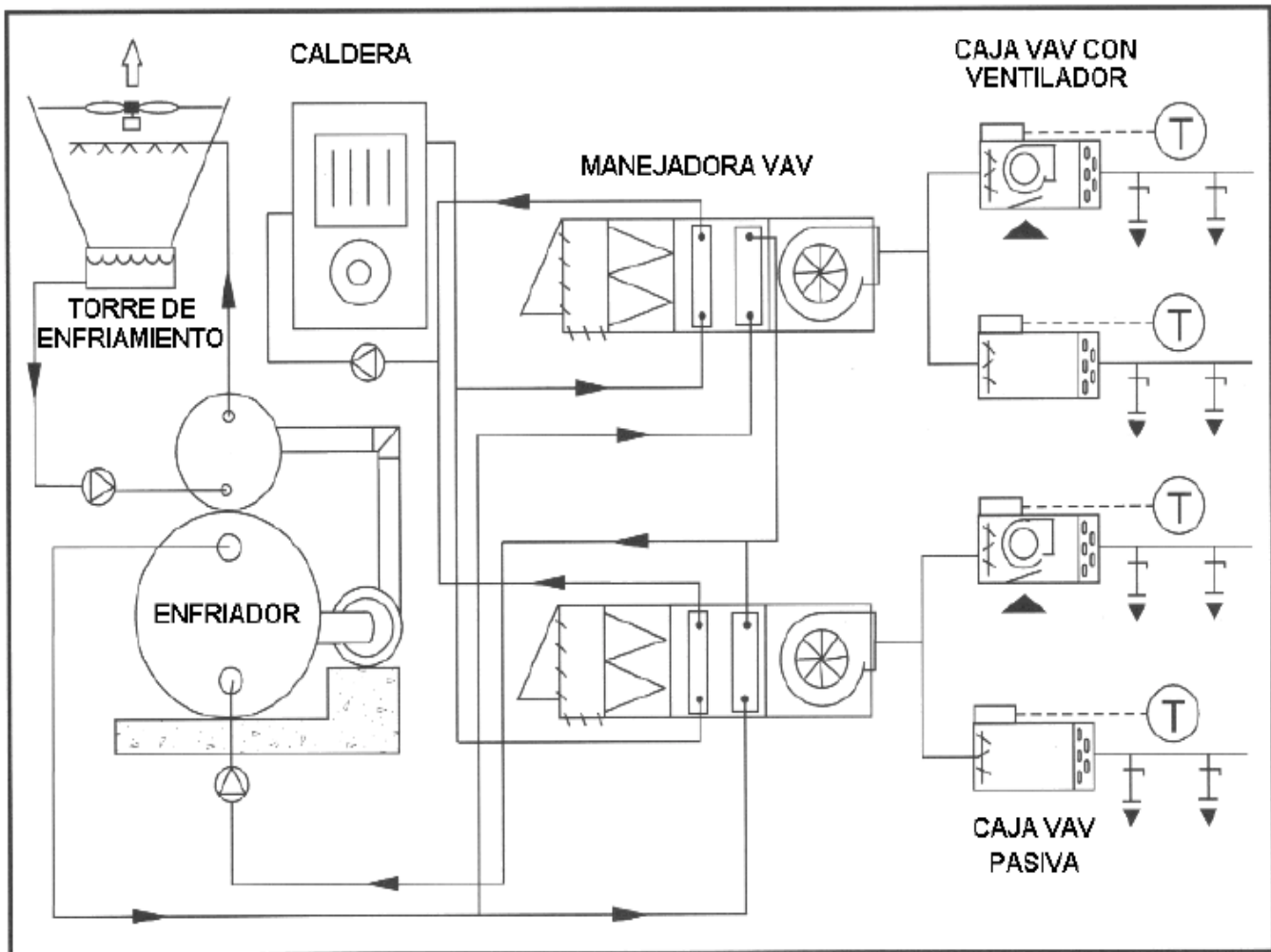


Figura: 1.7 MUESTRA A LOS PRINCIPALES ELEMENTOS DE UN SISTEMA COMERCIAL DE AIRE ACONDICIONADO.

El siguiente esquema, figura 1.8, muestra el sistema general que por lo general tiene medios para calentar, enfriar, humidificar, deshumidificar, purificar y distribuir aire a los diversos espacios acondicionados de una zona; también cuenta con los medios para introducir aire del exterior y para expulsarlo, así como para filtrar los diferentes caudales de aire que maneja.

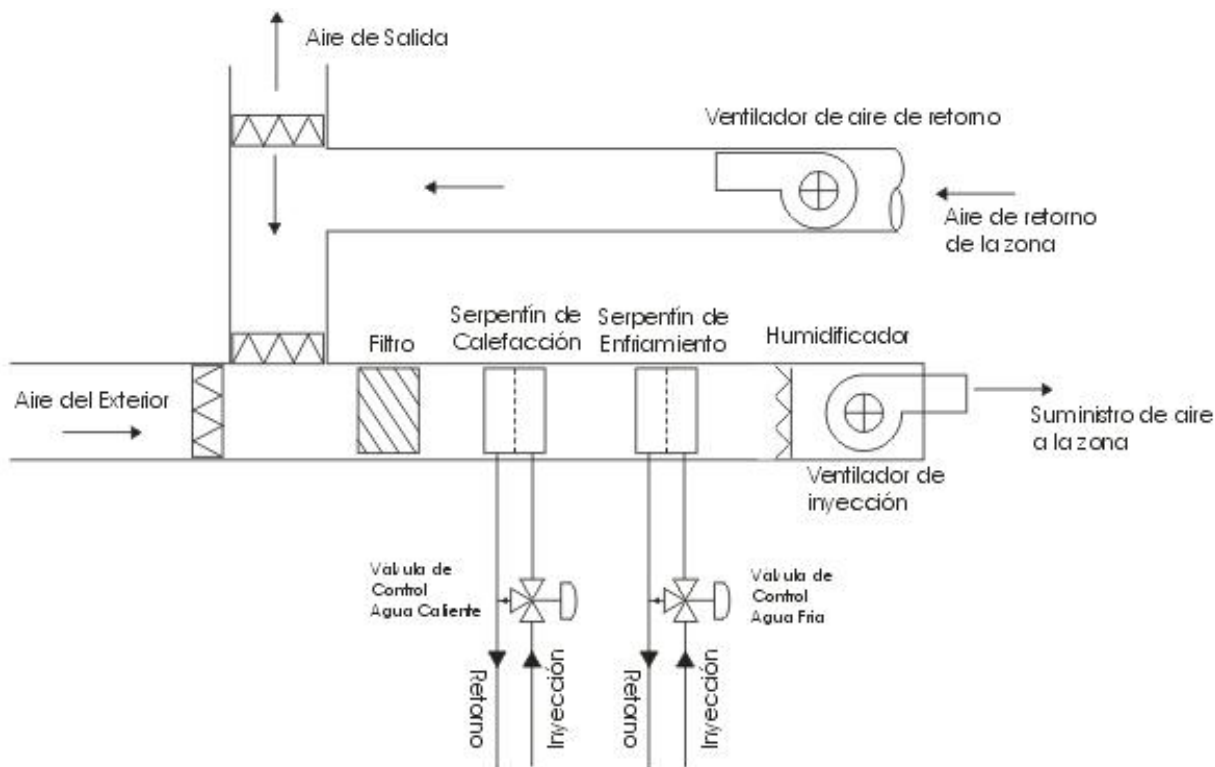


Figura: 1.8 MUESTRA A LOS PRINCIPALES ELEMENTOS DE UNA UNIDAD PAQUETE O MANEJADORA PARA DISTRIBUIR AIRE.

1.6.1. SISTEMA CENTRAL DE HVAC

Un sistema central consta de un equipo primario, compuesto por enfriadores y/o calentadores que están centralizados. El equipo primario se ubica comúnmente fuera del espacio acondicionado, en un sótano, azotea o en un área de servicio.

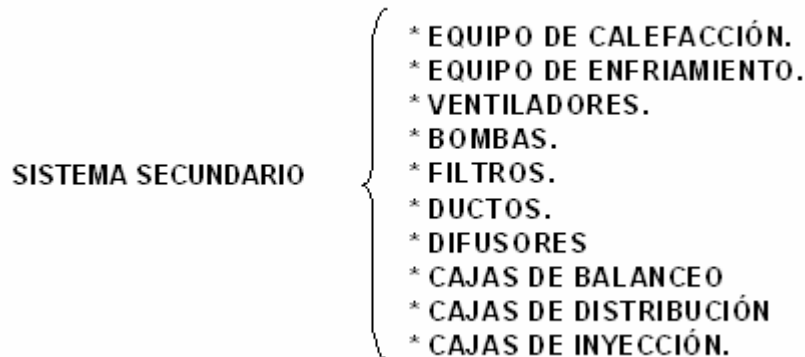
ENFRIADORES	CALENTADORES
<ul style="list-style-type: none"> * ENFRIADORES DE AGUA * TORRES DE ENFRIAMIENTO 	<ul style="list-style-type: none"> * CALDERAS * SISTEMAS DE COMBUSTION * GENERADORES DE VAPOR * RESISTENCIAS ELECTRICAS

1.6.2. SISTEMA SECUNDARIO DE HVAC

El sistema secundario, que se integra por un equipo de calefacción (serpentín de agua caliente, resistencia eléctrica) y/o enfriamiento (serpentín de agua fría), ventiladores, filtros, bombas, ductos, difusores, extractores

y cajas VAV, efectúan el trabajo de acondicionamiento donde se necesita. Al sistema secundario, generalmente se le denomina sistema de aire acondicionado y distribución.

El equipo secundario puede instalarse ya sea dentro del área acondicionada (si el espacio lo permita) o bien, un área adyacente al equipo primario de calefacción o refrigeración o bien, ubicarse a una distancia alejada de la circulación del refrigerante, agua fría, agua caliente, vapor o electricidad que proporciona transferencia de energía.



Nota: Para el desarrollo de este trabajo, enfocamos nuestra atención a los sistemas secundarios, en especial a las cajas de control de VAV en los sistemas de aire.

Un edificio grande o con diferentes funciones, puede dividirse en zonas. Una zona es un espacio acondicionado bajo el control de un solo termostato. Un termostato es un aparato de control que mide la temperatura en el espacio acondicionado, compara esa temperatura contra la temperatura deseada, y envía una señal de control al sistema de aire acondicionado (válvulas de control para serpentín de agua fría, válvulas de control para serpentín de agua caliente, Actuadores para compuertas de inyección, Actuadores para compuertas VAV, etc.) para responder en forma adecuada. En los casos en que la humedad sea un parámetro importante, el termostato puede utilizarse junto con un humidostato para proporcionar un control más efectivo de la humedad para las condiciones de confort en la zona a acondicionar.

1.7 TIPOS DE SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

Existen cuatro tipos de sistemas de acondicionamiento de aire que son:

- Sistemas Todo Aire: Trayectoria única.
- Sistema, Todo-Aire: Doble vía.
- Sistemas de Aire-Agua.
- Sistemas Solo Agua.

1.7.1 SISTEMA TODO AIRE

El sistema todo aire proporciona todo el calentamiento, enfriamiento y deshumidificación necesarios, suministrando aire acondicionado al espacio o zona a acondicionar. El aire de cada zona se transporta a los serpentines de calefacción y enfriamiento donde es acondicionado, y luego regresa a la zona.

Un sistema todo aire proporciona enfriamiento, la capacidad de precalentamiento y humidificación en el aire son suministrados por el sistema. No se requiere enfriamiento o humidificación adicionales en la zona, excepto en casos especiales. La calefacción puede realizarse por el mismo flujo del aire, ya sea en el sistema central o en cualquier zona en particular.

Los sistemas todo aire pueden adaptarse a muchas aplicaciones para trabajo de confort o de procesos, son usados en edificios que requieren control individual para múltiples zonas (tal como en edificios de oficinas, escuelas, universidades, laboratorios, hospitales, almacenes, hoteles y barcos).

Se utilizan en aplicaciones especiales para el control preciso de temperatura y humedad (incluyendo cuartos limpios, cuartos de computación, salas de operación en hospitales, facilidades de investigación y desarrollo), así como en muchas facilidades industriales de fabricación.

Los sistemas todo-aire pueden clasificarse como sistemas de una vía y sistemas de dos vías. Los sistemas de una vía tienen los serpentines principales de calefacción en una ruta y en serie y utilizan un sistema de ductos de distribución común, a una temperatura de aire común para alimentar todas las zonas. Los sistemas de dos vías tienen los serpentines principales de calefacción y enfriamiento en paralelo, en dos ductos separados y el flujo se encuentra en paralelo. En la figura 1.9 vemos un sistema de solo aire de una vía.

Los sistemas todo-aire se clasifican de la siguiente manera:

- Sistemas de volumen constante unizona de un solo ducto.
- Sistemas de volumen constante de un solo ducto con recalentamiento zonificado.
- Sistemas de volumen variable de un solo ducto.
- Sistemas de doble ducto.
- Sistemas de múltiples zonas (multizona).
- Sistemas de volumen de aire variable de doble ducto.

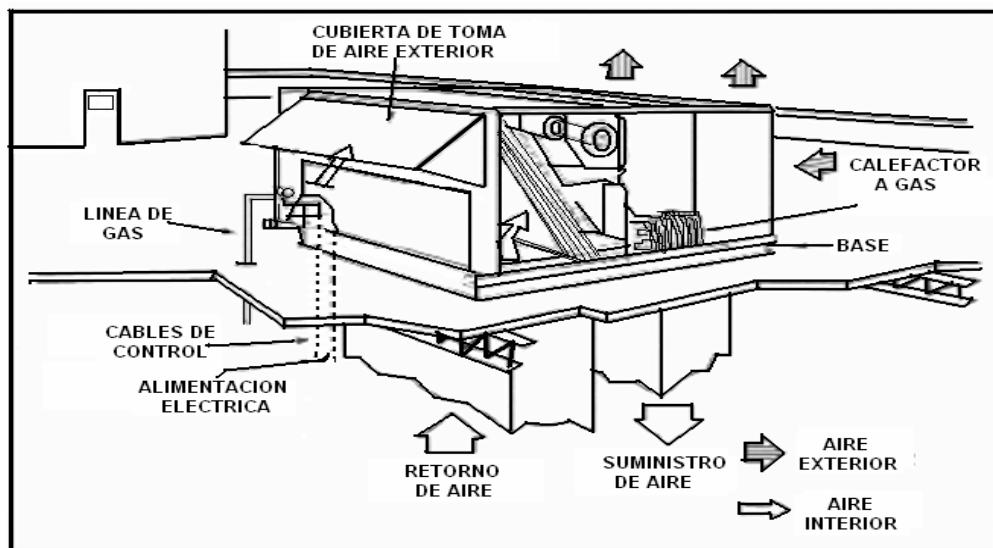


Figura: 1.9 SISTEMA TODO AIRE

1.7.2. SISTEMAS AIRE-AGUA

En los sistemas de aire-agua, tanto el agua como el aire son distribuidos hacia el espacio acondicionado para controlar tanto la temperatura como la humedad. El aire se enfría y se calienta en una unidad central, tal como

en los sistemas de aire, y entonces se circula a las diferentes zonas. El agua también se enfría o se calienta en una unidad central, y después se bombea hacia los serpentines del espacio acondicionado.

La sección que maneja el aire del sistema de aire-agua, casi siempre es un sistema de volumen constante, se denomina aire primario e incluye:

- El equipo central (enfriador, calentador, humidificador).
- Sistema de distribución con ductos.
- El equipo terminal (cajas, difusores, rejillas).

El control de humedad del cuarto se obtiene al acondicionar el aire primario en el equipo central. Se puede añadir humedad al aire primario durante la temporada de calor para mantener niveles confortables de humedad y durante los cambios de estación el sistema de agua puede apagarse, pudiendo el aire primario sostener toda la carga.

La sección que maneja el agua del sistema aire-agua, consta de:

- El equipo central de calentamiento y enfriamiento.
- El sistema de bombeo y distribución.
- Los serpentines de calentamiento y enfriamiento ubicados en las zonas.

1.7.3 SISTEMA SOLO AGUA

Los sistemas solo agua dependen del enfriador y/o calentador que se encuentran en el sistema central los cuales proporcionan el efecto de calentamiento y enfriamiento, así como de la bomba con su sistema de distribución (tubería) para llevar el agua al serpentín de la zona.

Tipos de sistemas HVAC.

Hay 4 tipos de sistemas HVAC utilizados en los servicios comerciales. Estos son: Todo aire y agua todo agua y unitarios. Los sistema solo agua son llamados sistemas hidrónicos. Hidrónico es el término utilizado para enfriamiento y calentamiento con líquidos.

Los sistemas de tipo todo aire proveen aire caliente o aire frío al espacio acondicionado a través de un sistema de ductos. Los tipos básicos de sistema solo aire son: unizona, multizona, dual o doble ducto, terminales con recalentamiento, volumen de aire constante, volumen de aire variable (VAV) y una combinación de estos sistemas. En el sistema típico la calefacción y el enfriamiento es complementada por el aire de mezcla (una combinación del aire de retorno y exterior) pasando a través del serpentín refrigerante (enfriamiento) o un intercambiador de calor (calentamiento).

El sistema básico aire agua (también llamado aire hidrónico) es un sistema central similar al sistema todo aire con serpentines enfriados por agua en lugar de serpentines con refrigerante para enfriamiento (con un condensador enfriado con aire) y serpentines de agua caliente para calefacción. En la figura 1.10vemos un sistema aire-agua.

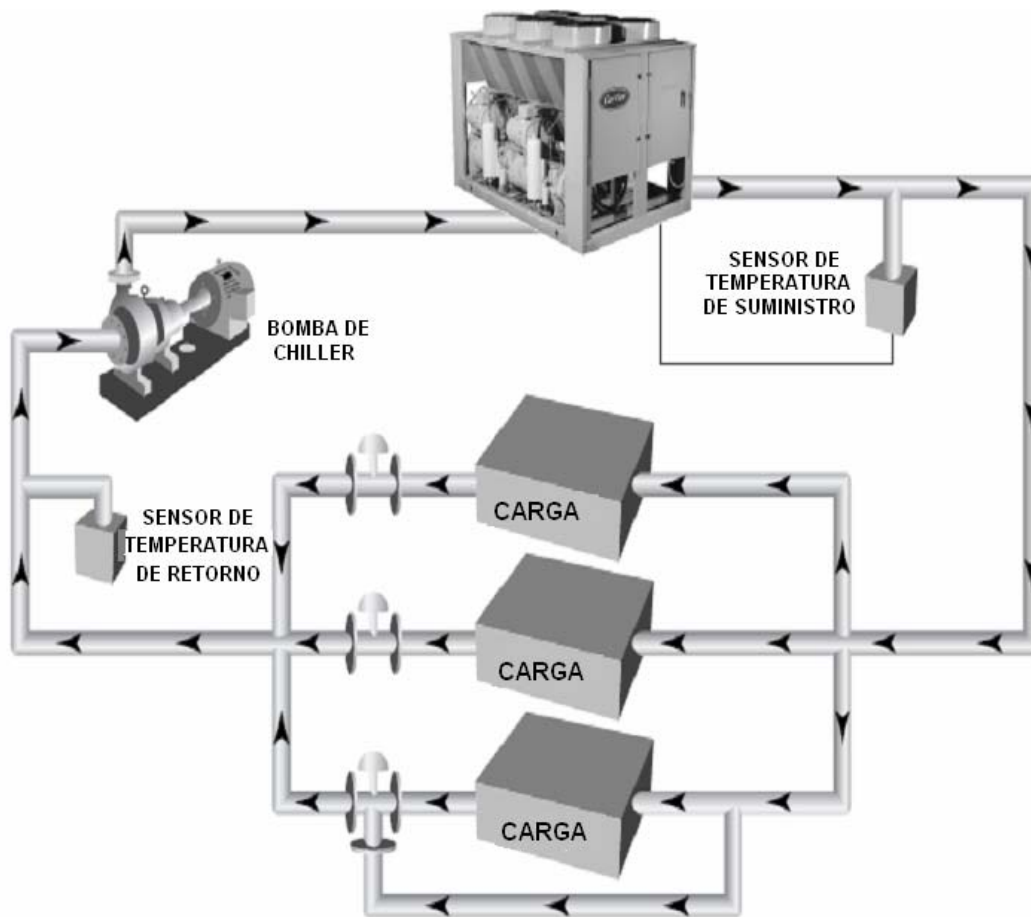


Figura: 1.10 SISTEMA AIRE-AGUA

Una variación de este sistema es agua aire (hidrónico aire) un sistema con serpentines de refrigerante para enfriamiento y un condensador enfriado con agua, figura 1.11.

Los sistemas todo agua (todo hidrónico) producen el enfriamiento del espacio a través de circular agua helada desde un sistema de refrigeración central a través de serpentines de enfriamiento en unidades manejadoras de aire (también llamadas unidades terminales o unidades fan & coil). Las unidades se encuentran localizadas en los espacios acondicionados del edificio. La calefacción se logra circulando agua caliente a través del mismo serpentín (enfriamiento/calentamiento) o a través de un serpentín de calefacción separado.

Cuando uno de los serpentines es utilizado solo para enfriamiento o solo para calentamiento o bien la calefacción y el enfriamiento se requieran en varias ocasiones, se utiliza un sistema de distribución de agua de dos tubos. Cuando dos serpentines son utilizados uno para calefacción y uno para enfriamiento se utiliza un sistema de distribución de agua de 4 tubos. La calefacción también puede ser alcanzada u obtenida utilizando electricidad o vapor.

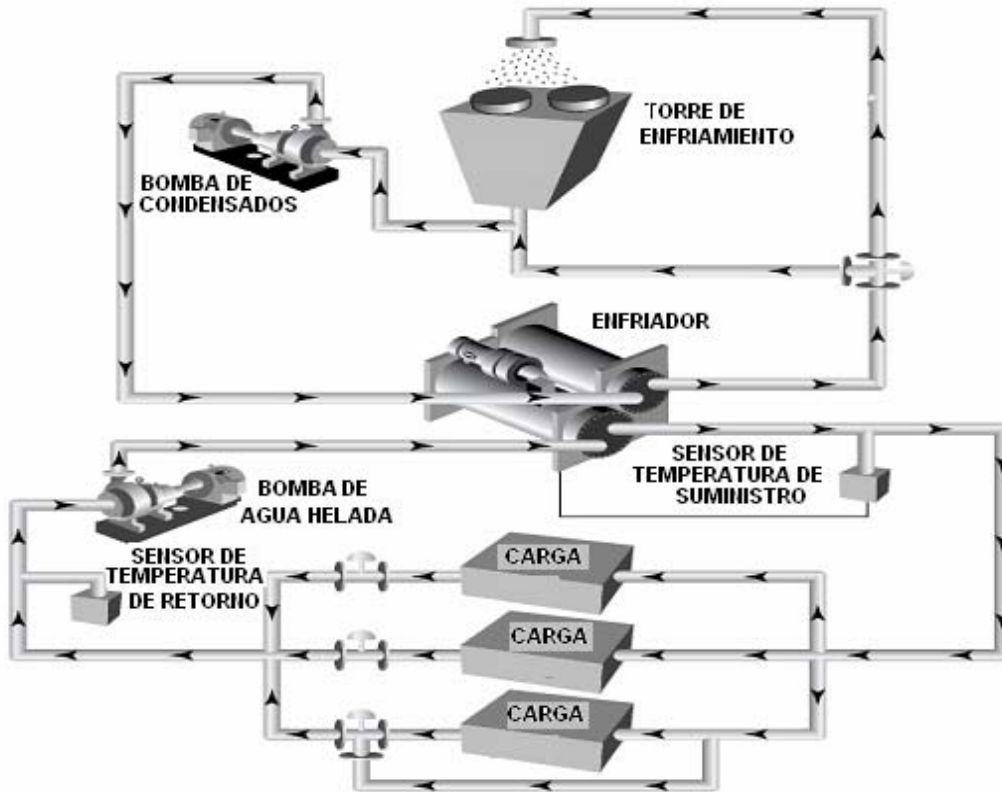


Figura: 1.11 SISTEMA AGUA-AIRE

Sistema unitarios.

Un sistema unitario es una unidad de aire acondicionado que provee todo o una parte de las funciones del aire acondicionado. Los componentes, ventilador, filtros, controles y los aparatos de enfriamiento (serpentín refrigerante, tubería del refrigerante, compresores y condensador) todos ellos son ensamblados de fábrica dentro de un paquete integrado (ver figura 1.12).

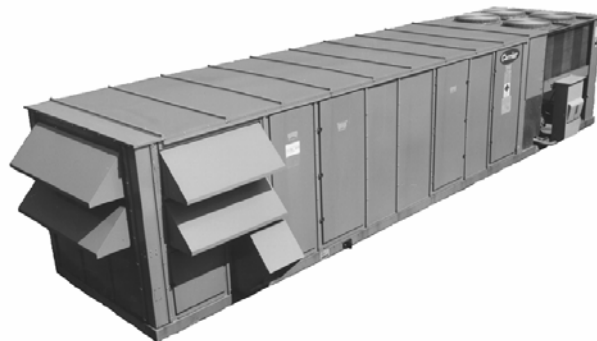


Figura: 1.12 UNIDAD PAQUETE DE TECHO DE GRAN CAPACIDAD

Los tipos de sistemas unitarios incluyen unidades de ventana, bombas de calor paquetes terminales y unidades de techo. Los sistemas unitarios son utilizados en un alto rango de aplicaciones y pueden ser o no utilizados con sistemas centrales. La capacidad de enfriamiento puede ir en un rango desde media tonelada hasta 100 toneladas de refrigeración.

Unidades paquete.

Las unidades paquete, denominadas en inglés Rooftop, son utilizadas en casi todos los tipos de aplicaciones de edificios, especialmente donde los requerimientos de desempeño son menos demandantes y relativamente de bajo costo inicial así como una instalación simplificada. Aplicación incluyen hoteles, plantas manufactureras, instalaciones hospitalarias, oficinas, escuelas, centros comerciales etc. En la figura 1.13 vemos una unidad paquete tipo residencial



Figura: 1.13 UNIDAD PAQUETE TIPO RESIDENCIAL.

Unidades de ventana.

Estos equipos acondicionan espacios individuales. Tienen un bajo costo inicial y son rápidos y sencillos de instalar. Las unidades de ventana, figura 1.14, se ensamblan en fábrica con controles individuales sin embargo cuando múltiples unidades son utilizadas en un solo espacio los controles pueden ser intervenidos para prevenir calefacción y enfriamiento simultáneo.



Figura: 1.14 UNIDAD DE VENTANA

A través de muro (PTAC's) aire acondicionado de Paquete Terminal, PTAC por sus siglas en inglés (Packaged Terminal Air Conditioners), figura 1.15, pueden ser unidades solo frío o de calor en ellas se incorpora un sistema de enfriamiento de expansión directa enfriado por aire conocido por auto contenido.

Estas unidades son diseñadas para enfriar o calentar espacios individuales cada espacio es una zona individual controlada por un ocupante en la cual el aire frío o caliente es descargado en respuesta a un control termostático que cumple los requerimientos del espacio. Estos sistemas son usualmente instalados en apartamentos, casa de asistencia, escuelas, moteles y hoteles de ahí surge su denominación comercial como unidades hoteleras.



Figura: 1.15 UNIDAD HOTELERA (PTAC's)

Unidades divididas.

Estas unidades son sumamente populares ya que se adaptan a múltiples instalaciones por su versatilidad en ellas, se llaman así debido a que es un sistema partido o dividido (split) el evaporador se aloja en el interior de la habitación o 'área a acondicionar y el condensador se lleva al exterior en el piso o en el techo y se interconectan con tubería de cobre dos tubos donde uno es la succión del refrigerante y el otro la descarga, en los sistemas residenciales estos se conocen como minisplit con un rango de capacidad de 1 a 5ton. En la figura 1.16 se muestra el sistema.

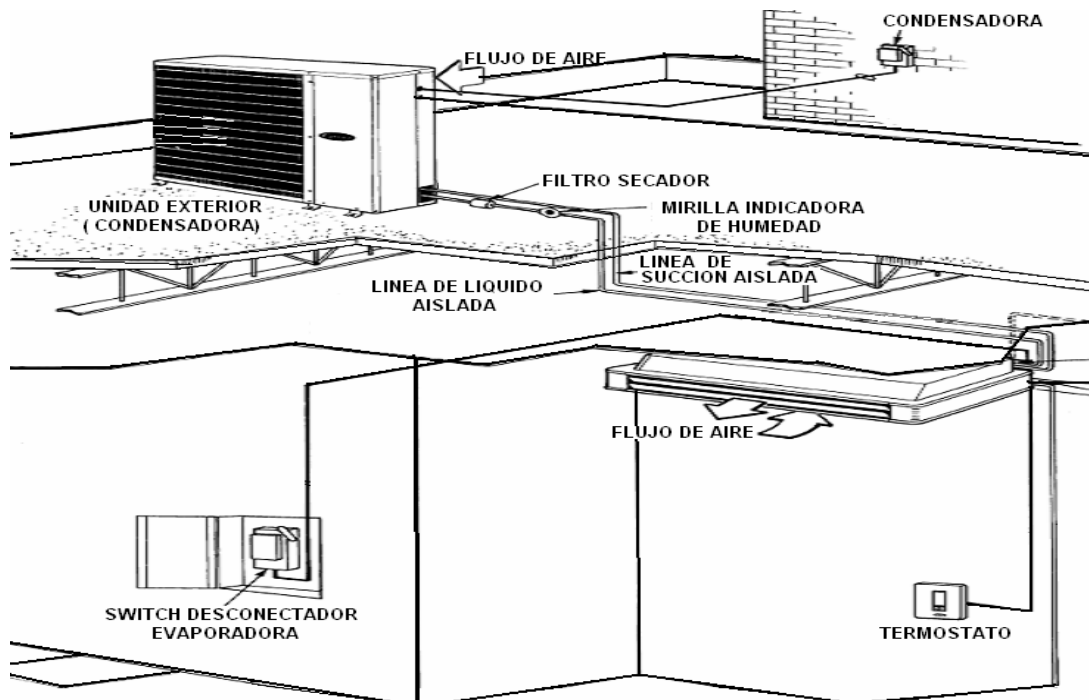


Figura: 1.16 SISTEMA MINI SPLIT

Como se aprecia esta unidad descarga directamente sobre el área, existen aplicaciones que por su capacidad o requerimientos de instalación de las unidades deben recorrer trayectos variados en estos casos se emplea otro evaporador tipo manejadora y el aire es llevado al espacio a través de una red de ductos este es un sistema dividido, figura 1.17. Este sistema se puede aplicar desde usar desde una capacidad de 2 hasta 100 toneladas de refrigeración por lo cual es muy practico y económico.

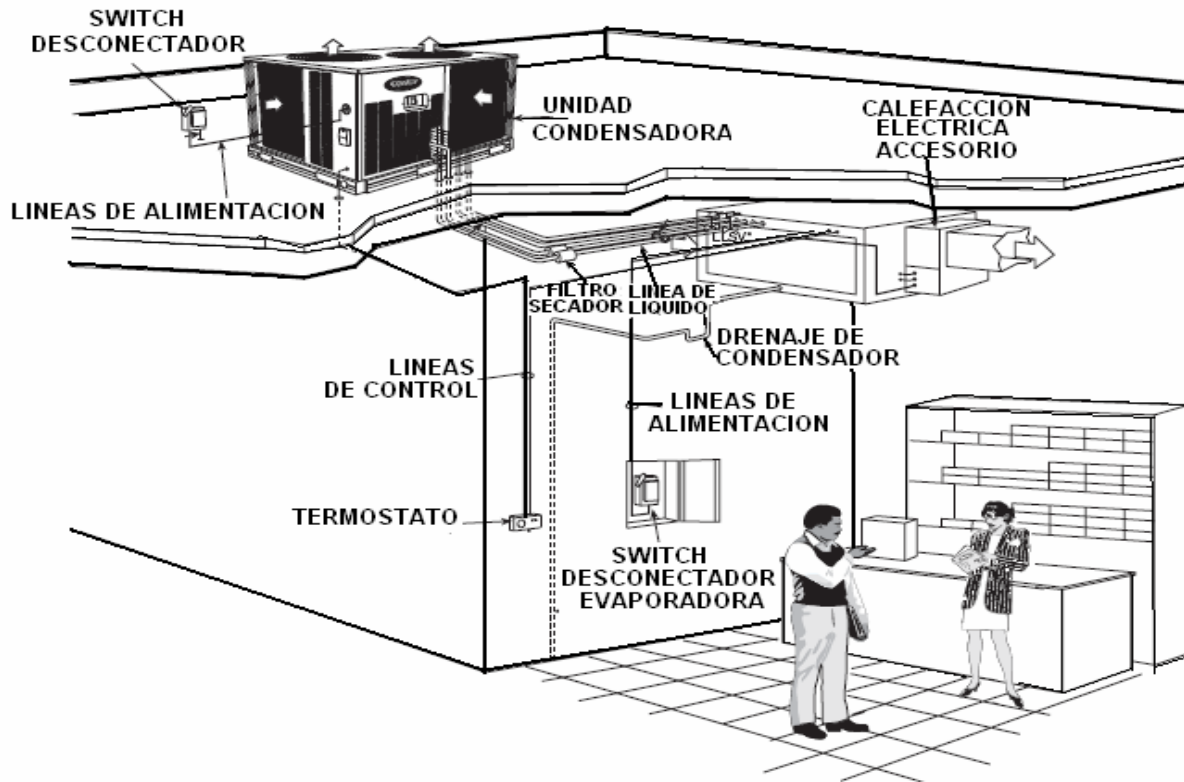


Figura: 1.17 COMPONENTES DE UN SISTEMA DIVIDIDO, MANEJADORA Y CONDENSADORA

Unidades manejadoras de aire.

Existen otros equipos para mayor capacidad, las cuales son las unidades manejadoras de aire (figura 1.18). Estas pueden ser clasificadas por su operación, de expansión directa o de agua helada y van en rangos de capacidades desde 3 hasta 110 toneladas de refrigeración..

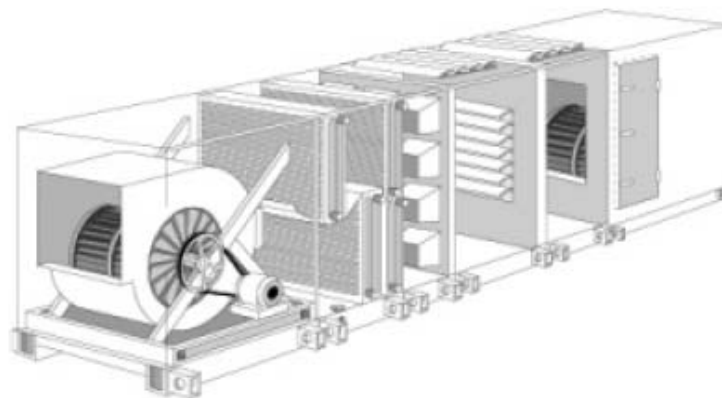


Figura: 1.18 VISTA DE UNA MANEJADORA DE AIRE

Las manejadoras pueden ser con configuración horizontal o bien vertical, en la configuración horizontal la sección de ventilador corre en línea –en horizontal- con las demás secciones de la manejadora y en el caso de la configuración vertical la sección del ventilador queda encima de la sección de los serpentines.

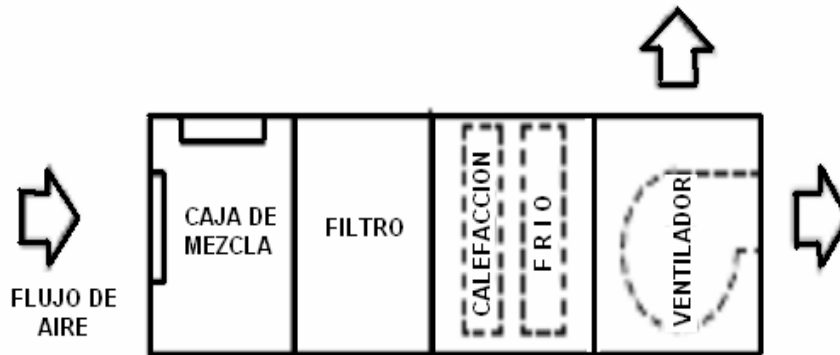


Figura: 1.19 EJEMPLO DE CONFIGURACION DE MANEJADORA HORIZONTAL .

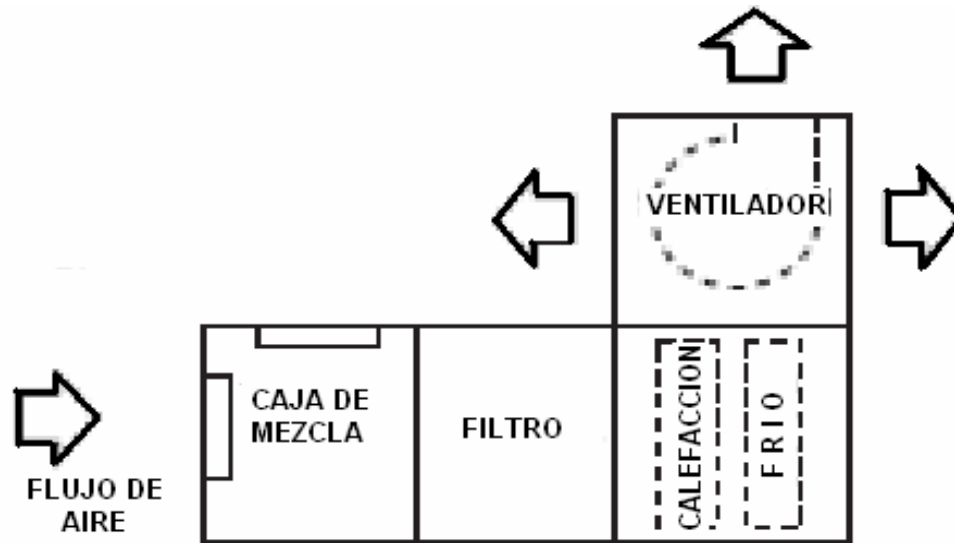


Figura: 1.20 EJEMPLO DE CONFIGURACION DE MANEJADORA VERTICAL.

Otras características de las unidades manejadoras de aire (UMAS) es de acuerdo a su fabricación esta puede ser de pared sencilla o pared doble siendo esta última más costosa pero más recomendable para aplicaciones en hospitales, escuelas y en grandes capacidades. En el arreglo de pared sencilla la unidad es fabricada con una estructura en sus paredes de una sola hoja de lamina y en el caso de la pared doble la estructura de la unidad es hecha con dos laminas separadas de 1.5 a 2 pulgadas generando mayor integridad de la unidad, mayor soporte, menor nivel de ruido, ambiente interior más limpio entre otras características.

Otro tipo de unidad manejadora es la multizona, figura 1.21, la cual fue la concepción original de un diseño que buscaba zonificar espacios, es decir, acondicionar por áreas o zonas la temperatura adecuada para confort. Esta unidad consiste de un modulo de descarga para enfriamiento y otro para calefacción ambos alimentados por el mismo ventilador pero en la misma boca de descarga tienen una sección con compuertas que permiten mandar cantidades de aire determinadas a diferentes áreas.

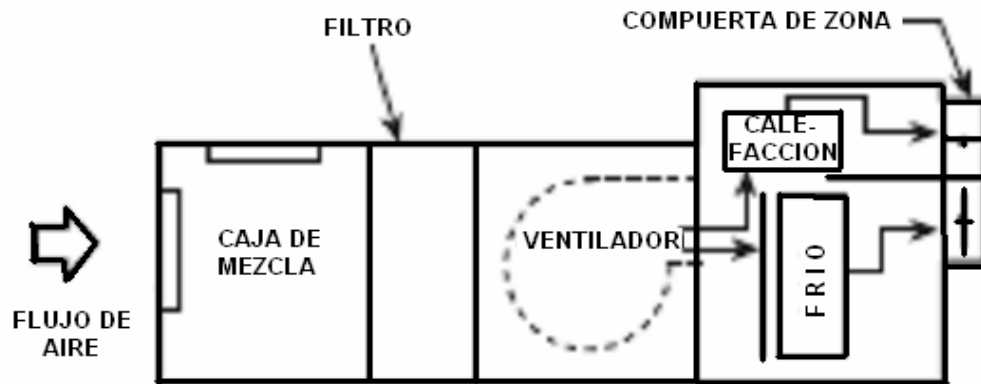


Figura: 1.21 UNIDAD MANEJADORA MULTIZONA

Finalmente las unidades manejadoras se clasifican de acuerdo a su arreglo del ventilador con respecto al serpentín y tenemos dos tipos: el Blow-Thru y el Draw-Thru. El primero nos indica que el ventilador esta detrás de la sección de serpentín, esto es que sopla el aire, ver de unidad multizona de la figura 1.21, en el arreglo Draw –Thru el ventilador esta por delante del serpentín esto es se encuentra jalando el aire como en la figura 1.19 y 1.20

Las unidades de aire debido a su flexibilidad son comercialmente solicitadas en base a su capacidad para manejar aire esto es en pies cúbicos por minuto –CFM’s por sus siglas en ingles (Cubic Feet per Minutes)- así tenemos que sus capacidades van desde 1,200 a 60,000 CFM’s.

CAPITULO II

2. DISTRIBUCION DEL AIRE

2.1 INTRODUCCION

Los sistemas de aire acondicionado independientemente de su clasificación en base al tipo de sistema aire, aire-agua, agua-aire o solo agua se identifican en dos posibles opciones esto basado en que el efecto que recibimos de cualquier sistema de acondicionamiento es a través de la inyección de aire al espacio de esta forma explicaremos la diferencia entre un sistema de volumen constante y uno de volumen variable para una vez familiarizados con este último conozcamos las cajas VAV sus tipos y aplicaciones así como los métodos de control existentes

Un Sistema de Aire Acondicionado de Volumen de Aire Variable (VAV) varía el volumen del aire a temperatura constante que es suministrado para cumplir con los cambios de carga del espacio a acondicionar.

2.2. DUCTOS

Para llevar el flujo de aire necesario a cada área a acondicionar se requiere hacer un sistema de distribución de aire, esto se logra a través de ducteria la cual puede ser de forma circular, rectangular o triangular.

Diseñar un sistema de ductos implica considerar muchos factores en orden de importancia serían

- Espacio disponible.
- Costo de instalación.
- Perdidas de aire por fricción.
- Nivel de ruido.
- Fugas en el ducto y transferencia de calor.
- Cumplimiento de códigos y estándares.

En la siguiente tabla (2.1) vemos las velocidades recomendadas en el diseño de ductos expresadas en pies cúbicos por minuto de acuerdo a la aplicación.

Los ductos son fabricados en lamina galvanizada, aunque los hay en fibra de vidrio y también de lona, el proceso para diseñar una red de ductos implica determinar los CFM's requeridos la distancia a recorrer la forma en que se distribuirán en la zona, esto es en uno o varios difusores, y sobre todo la trayectoria la cual

puede tener partes curvas, codos, subidas, bajadas, reducciones, transiciones y conversiones de ducto por ejemplo de circular a rectangular.

Guías para el Diseño de los Conductos:

Sistemas de baja velocidad

Aplicación	Velocidad Máxima (Pies / Min)
Residencias	600
Teatros, Iglesias, Auditorios	800
Apartamentos, cuartos de hotel o de pacientes	1.000
Oficinas, Bibliotecas	1.200
Tiendas, Restaurants, Bancos	1.500
Cafetería	1.800

Sistemas de alta velocidad:

- Troncal : 2.000 a 4.000 pies / min.
- Ramal : 3.500 a 5.000 pies / min.
- Alimentación a terminal : ≤ 2.000 pie / min.

¿Cómo pueden determinar los diseñadores su red de ductos con tantas variables? Para ello existen los ductuladores, los cuales son calculadores de ductos y vienen en forma rectangular (deslizables) figura 2.1 ó circular (ruedas) figura 2.2, que de forma manual permiten seleccionar la velocidad deseada y la relación entre el flujo de aire y la fricción de manera que nos permiten determinar el diámetro para un ducto circular o las dimensiones de un ducto rectangular, la mayoría de los ductuladores incluyen cartas escaladas que permiten determinar la velocidad de presión y encontrar las pérdidas de presión para una gama de diversos materiales.

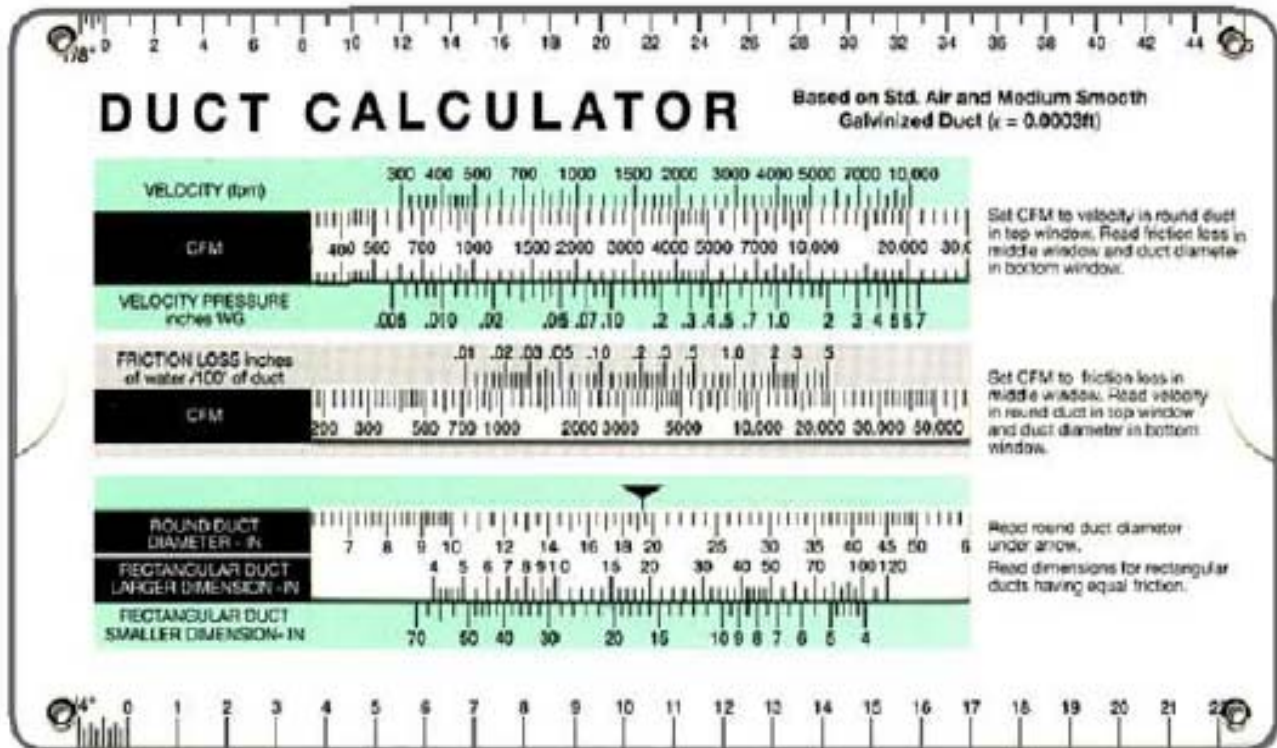
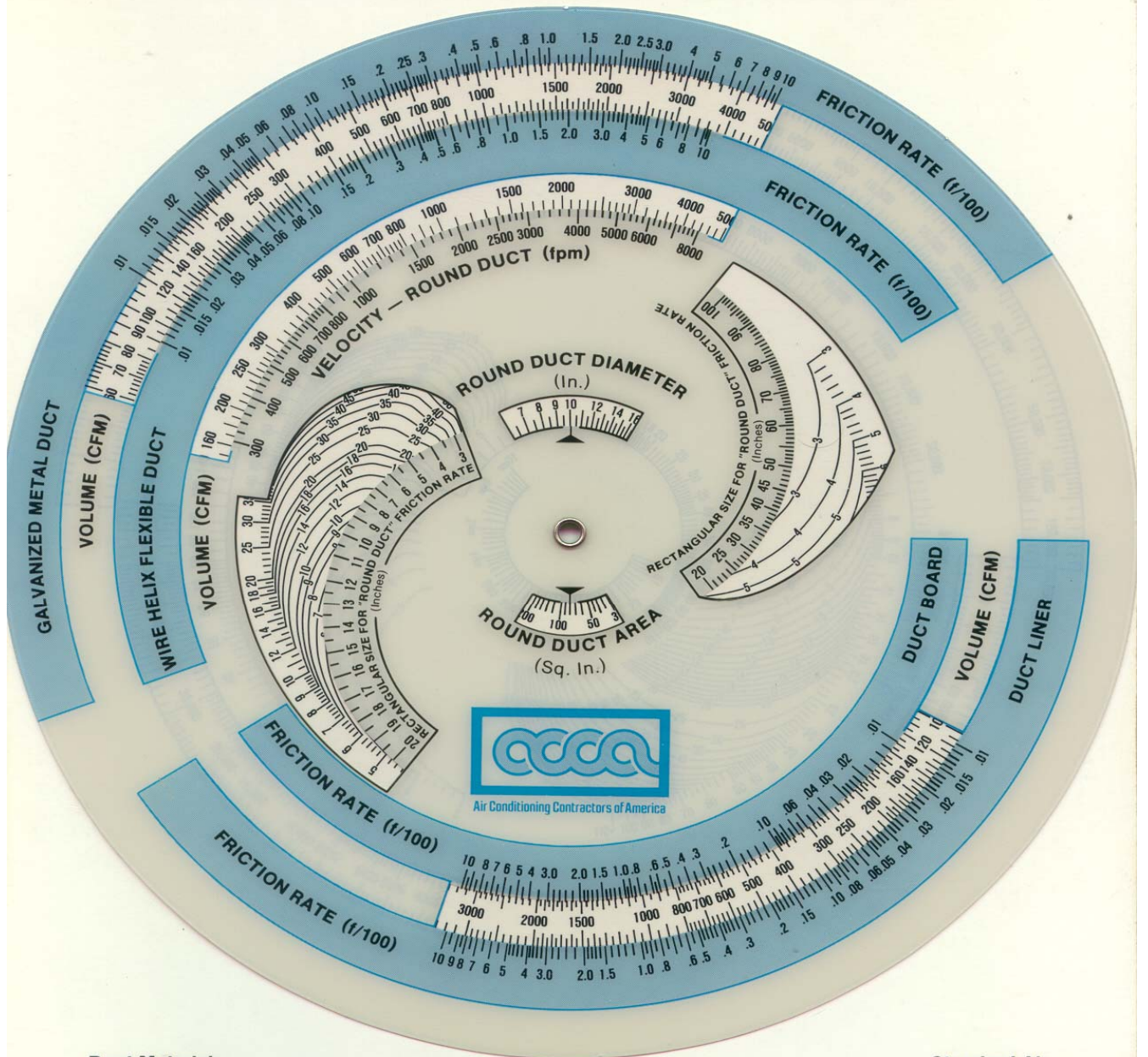


Figura: 2.1 CALCULADOR DE DUCTOS RECTANGULAR O LINEAL

DUCT SIZING CALCULATIONS



Duct Materials

Galvanized metal, wire helix flexible, duct board and duct liner.

Standard Air

Sea Level, 70°F

INSTRUCTIONS

Use CFM and f/100 to size round duct for a given f/100.
 Use CFM and velocity to size round duct for a given velocity.
 Use CFM and round size to find velocity in round duct.
 Use CFM and round size to find f/100 in round duct.

Use round size and velocity to find CFM in round duct.
 Convert round size to a rectangular size with same f/100.
 Convert diameter to round area.
 See other side for rectangular duct areas and velocities.

© 1990 Datalizer Slide Charts, Inc., Addison, IL 60101

Figura: 2.2 CALCULADOR DE DUCTOS CIRCULAR

El propósito de la red de ductos es mantener un flujo de aire continuo, con la más baja caída de presión estática, el más bajo nivel de ruido, esto evitando las turbulencias ocasionadas por cortes transiciones o peraltes continuos en las trayectorias. De manera que el sistema sea auto balanceado. Finalmente este debe ser un sistema a prueba de fugas y aislado para evitar la transferencia de calor y el condensado.

2.2.1. METODOS DE CALCULO DE DUCTOS

Existen tres métodos en la actualidad para realizar el cálculo de ductos que brevemente comentaremos.

- Igual Fricción
- Igual Fricción Modificada
- Permanencia Estática

Igual Fricción.

Como su nombre lo indica este método dimensiona los ductos para una caída de presión constante por cada unidad de longitud, en la forma más sencilla de explicar esto implica que la pérdida por fricción será uniforme por cada pie lineal de ducto y esta se mantendrá constante a lo largo del sistema total de ductos. Este método es el más ampliamente utilizado para sistemas de baja presión, en esencia reduce la velocidad del aire en el ducto en la dirección del flujo.

Igual Presión Modificada.

Con el método de igual fricción se generan algunas variaciones en las caídas de presión y para evitar esta desventaja se le hace una modificación a este procedimiento con el fin de tomar ventaja de este efecto estático. Este procedimiento se emplea cuando los sistemas de ductos son asimétricos o que tienen longitudes muy largas y cortas de ductos. Se realiza disminuyendo las dimensiones de los tramos cortos de ductos con una menor pérdida por fricción que hace que halla un choque a través del empleo de compuertas de balanceo, resultando en ductos más pequeños que permiten ahorrar dinero.

Permanencia Estática.

Este método es más complejo y detallado y se emplea para dimensionar los ramales principales o ductos de inyección de cualquier clase de presión/velocidad. Las ventajas son tener un menor BHP (Brake Horse Power) en el ventilador y un sistema dimensionado auto balanceado por cajas VAV eliminan la necesidad de realizar un trabajo adicional por tantos cálculos, en este método las velocidades son sistemáticamente reducidas, resultando en una conversión de la presión de velocidad en presión estática, lo cual traslapa una porción de las pérdidas por fricción al siguiente segmento de reducción de ductos. Este método tiene su principal ventaja en que es auto balanceado y todas las pérdidas o ganancias son proporcionales a la velocidad, esto lo hace especial para sistemas de ductos con altas velocidades donde la turbulencia y el ruido generado por compuertas de balanceo impiden su uso.

2.3. FILTRACION

El aire es una mezcla de gases compuesto aproximadamente de 21% de oxígeno, 78% de nitrógeno, 1% de argón y algunos otros gases. El aire que respiramos también incluye partículas materiales y gases generados por la naturaleza, el hombre y los procesos industriales. Es motivo de preocupación las partículas de materia y los gases que afectan nuestra salud o confort, que dañan nuestro entorno o que afectan los productos o componentes que estamos fabricando.

Anteriormente se creía que el aire exterior era la principal fuente de contaminación. Sin embargo hoy en día se conocen otras fuentes que se encuentran en medio ambientes cerrados, tales como equipo eléctrico de oficina, alfombras, materiales de construcción, plásticos y materiales decorativos trayendo como consecuencia enfermedades a los ocupantes del inmueble.

La filtración del aire es el medio para obtener el grado de limpieza requerido para cualquier definición de "aire acondicionado". Su función va desde la simple tarea de prevenir que se acumule pelusa, polvo entre otras partículas en los serpentines hasta remover partículas tan pequeñas como 0.1 micras que pueden ocasionar un corto circuito en un "microchip".

Existen otras razones para filtrar el aire entre las cuales se incluyen las siguientes:

- Proteger el bienestar general de las personas.
- Ayudar a que la ductería del aire acondicionado acumule menos polvo y sea menos propicia a fomentar el crecimiento de hongos y bacterias.
- Proteger la decoración de los espacios ocupados, al evitar que se ensucien.
- Reducir el mantenimiento de los interiores al reducir la frecuencia de lavado del techo, lámparas, etc.
- Protección de contenidos tales como pinturas, tapices, y otros objetos valiosos.
- Eliminación de incendios al remover pelusas y polvo que se acumula en la ductería.
- Remoción de bacterias para evitar infecciones postoperatorias.
- Reducción de síntomas de alergia.
- Mejorar el control de calidad en los sistemas de producción que se ven afectados por las partículas aerotransportadas.
- Alargar la vida de los alimentos al remover hongos y moho que aceleran su descomposición.

En cualquier industria la evaluación de los productos es una consideración importante. En el caso de los filtros para aire los tres intereses primordiales son:

1. ¿Cuál es la eficiencia de un filtro para remover un determinado contaminante aerotransportado (comúnmente polvo) que es del interés del usuario? Frecuentemente hay interés en la habilidad de un filtro para remover un determinado contaminante (tamaño).

2. ¿Cuánto de este polvo va a remover antes de que requiera mantenimiento o cambio?

3. ¿Qué resistencia ofrece el filtro al flujo de aire?

Existen filtros de varios tipos y en esencia se clasifican por la capacidad para retener partículas y polvo en el ambiente.

2.3.1. TIPOS DE FILTROS.

Filtros Mecánicos

La media filtrante esta compuesta de varia mallas onduladas de aluminio tipo mosquitero y una capa de poliéster o poroflex. Las mallas al ser onduladas proveen una mayor superficie de filtración. El propósito es permitir una saturación completa del filtro al capturar las partículas más grandes por la entrada del flujo del aire y una retención progresiva de las partículas más pequeñas tienen una caída de presión de .10 a .16"wg. Su eficiencia es del 20 al 30%

Filtros Electroestáticos

Una carga electrostática es generada por el aire que pasa a través de los laberintos de fibras estáticas. Las partículas transportadas por el aire son atraídas y retenidas por cargas estáticas hasta que estas partículas son soltadas al lavar los filtros. Tienen una caída de presión de .15"wg. Su eficiencia esta en el rango del 15 al 20%.

Filtros de bolsa

Los filtros de bolsa son filtros de superficie extendida de alta eficiencia. Su media filtrante puede ser de fibra de vidrio ultra fina o de fibra sintética. La media filtrante viene en varios colores según su eficiencia, típicamente tienen un largo de 24", su caída de presión va desde 0.28 hasta 1"wg y la máxima resistencia al aire sin romperse o abrirse es de 4"wg. Su eficiencia va desde el 40 al 95%.

Filtros absolutos

Los filtros absolutos HEPA (High efficiency particulate air filter) o ULPA (Ultra low particulate air filter) son filtros de superficie extendida, desechables con un marco rígido con una eficiencia mínima del 99.97% para partículas de 0.3 micras. El filtro esta construido con fibra de vidrio ultra fina, plegada y separada entre si por separadores que generalmente son de aluminio.

Estos filtros fueron desarrollados para aplicaciones militares e industriales y también son utilizados en quirófanos o laboratorios. Su caída de presión no es menor a 1"wg.

Para determinar la eficiencia de un filtro se cuentan con varias pruebas desarrolladas por ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers) entre otras organizaciones. Además de medir su eficiencia para recolectar partículas, se mide la caída de presión del filtro y su capacidad colectora de polvo (expresado en gramos). Los estándares desarrollados por ASHRAE son el 52.1-1992 y 52.2-1999; el IEST (Institute of Environmental Sciences and Technology) es el responsable de la prueba de penetración para filtros de alta eficiencia y se cuentan con las pruebas de UL80 para medir la resistencia al fuego.

A continuación se muestra su clasificación de acuerdo al tipo de filtro y la aplicación por la NAFA Asociación Nacional Filtros Americanos por sus siglas en ingles. (fig.2.3)

Tabla de Aplicaciones de NAFA					
Estándar ASHRAE 52.2 MERV	Estándar ASHRAE 52.1 Eficiencia	Estándar ASHRAE 52.1 Arrestancia	Tamaño de Partícula y Contaminantes	Aplicaciones comunes y limitantes	Tipo de Filtro
1-4	<20%	60 a 80%	>10.0 micras Fibra de alfombra Fibras textiles/Acaros Polvo de Pintura en Spray Musgo Español	Residencial / Mínimo Comercial / Ligero Protección al equipo Protección mínima	Lavables metálicos, mesh, lat cola de marrano poroflex, electroestáticos pasivos, fibra vidrio, sintéticos tipo panel
5-8	<20 a 35%	80 a 95%	3.0 - 10.0 micras Leche en polvo / Polvo de Pudín Polvo de cemento Protector de textiles / Moho Spray de cabello / Esporas	Edificios Comerciales Residencial / Mejor Area de trabajo industrial Casetas de pintura	Pliegues, densidad progresiva, cubo, sintéticos
9-12	40 a 75%	>95 a 98%	1.0 - 3.0 micras Humos de soldadura / Gotas de Nubulizador Emisiones automotrices Polvo de carbón / Harina molida Polvo de plomo / Polvo del Deshumificador / Legionella	Residencial / Superior Edif. Comerciales / Mejor Hospitales Laboratorios Areas de trabajo Industrial / Mejor	Bolsa Tipo cartucho Rigidos
13-16	80 a 95%+	>98 a 99%	0.3 - 1.0 micras Bacterias / Humo de tabaco Aceite de cocina / Casi todo el humo / Polvo insecticida Toner de copiadora / Polvo facial Pigmentos de pintura	Edif. Comerciales / Superior Hospitales y clinicas Cirugia general Remoción de humo	Bolsa Tipo cartucho Rigidos
17-20 (1)	99.97 (2)% 99.99 (2)% 99.999(2)%	N/D	≤0.3 micras Humo de combustión Sal de mar / Polvo de carbón Virus	Cuarto limpios Cirugia de Alto Riesgo Material Radioactivo Industria Farmaceútica	Absolutos (HEPA/ULPA)

Figura: 2.3 CLASIFICACION DE FILTROS Y SU APLICACIÓN DE ACUERDO A LA ASOCIACION NACIONAL DE FILTROS AMERICANOS - NAFA -POR SUS SIGLAS EN INGLES

Una consideración muy importante es la vida del filtro. Entre mas larga sea esta vida, menos serán sus costos de operación. Debido a las múltiples variables en el medio ambiente el estimar la vida de un filtro es muy complicado para los fabricantes de filtros. La primera dificultad es encontrar un polvo que sea parecido al del aire atmosférico, la segunda estriba en utilizar este polvo en una prueba acelerada que permita el cálculo o la estimación de un filtro.

2.4. SISTEMAS DE VOLUMEN CONSTANTE

Es el esquema más simple de distribución de aire esta compuesto por un sistema de filtrado, un serpentín de enfriamiento puede ser de agua o refrigerante, cuando cuenta con calefacción esta puede ser con un serpentín de agua, vapor o refrigerante o bien una resistencia eléctrica y la parte final la ocupa una sección de ventilación, integrada por un motor que esta conectado a un ventilador la figura 2.4 nos muestra como se integra este sistema.

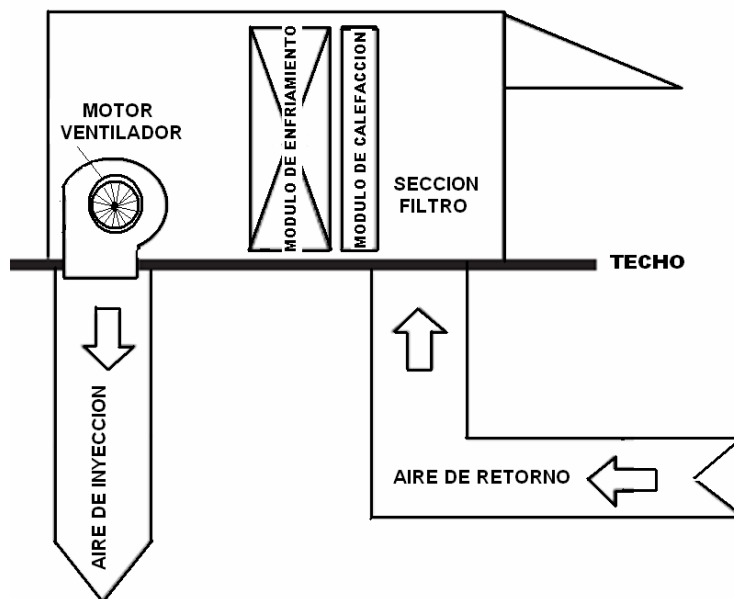


Figura: 2.4 ESQUEMA VC CON UNIDAD PAQUETE

El principio es muy sencillo la unidad enfriará o calentará la zona respectiva –toda el área- en función de la demanda activando el ventilador el cual solo puede prender o apagar así el caudal de aire con que viene diseñado el ventilador será constante cada vez que este enciende de tal forma que el volumen de aire siempre será el mismo sin importar si se requiere enfriar a un porcentaje del total del sistema.

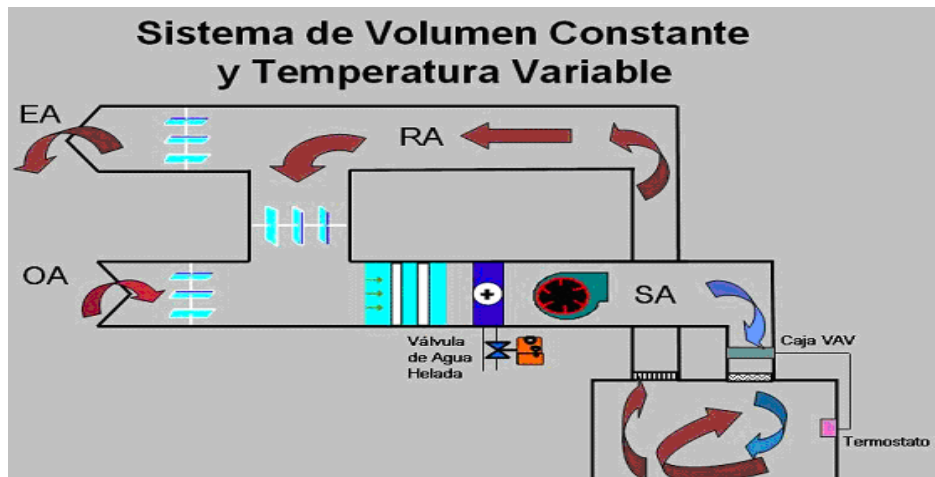
Debido a la simplicidad, modularidad, costo instalado y calidad de aire interior este sistema es el mas difundido para acondicionar instalaciones residenciales y comerciales cuando las áreas a acondicionar con este sistema son grandes se emplea una red de ductos para obtener una distribución uniforme del aire. Como ventaja no hay equipos mecánicos en los ambientes ocupados o encima del cielo falso. No se requiere acceso a los espacios ocupados por parte del personal de mantenimiento o servicio para atender a estos equipos si así fue previsto en su diseño e instalación. Requiere espacio encima del cielo falso para el paso de conductos.

En la gráfica vemos un ejemplo de esta aplicación que frecuentemente encontramos en las tiendas departamentales o de autoservicio.

2.4.1. METODOS DE CONTROL.

La forma más básica de control de un sistema de volumen constante es a través de un termostato el cual puede ser analógico o digital este contiene un sensor de temperatura de espacio y un ajuste de temperatura para frío y calor (set-point) el cual es la banda de control donde operará la unidad una vez saliendo de estos puntos por arriba el termostato enviara un pulso para arrancar la etapa de enfriamiento y si baja del limite inferior mandará activar la calefacción.

Al sistema de volumen constante (CV) se le conoce también como sistema de volumen constante y temperatura variable. Este sistema envía un flujo de volumen constante de aire al espacio a acondicionar y, para mantener la temperatura de espacio requerida a todas las condiciones de carga, se varía la temperatura del aire a suministrar. En este ejemplo, la temperatura del aire es variada al controlar la capacidad del serpentín de enfriamiento central mediante una Válvula de Control de Agua Helada. En la figura 2.5 se muestra un sistema de volumen constante y temperatura variable. (fig 2.5)



Nomenclatura:

EA: Exhaust Air, Aire de Desfogue
RA: Return Air, Aire de Retorno

OA: Outside Air, Aire Exterior
SA: Supply Air, Aire de Suministro

Figura: 2.5 SISTEMA DE VOLUMEN CONSTANTE Y TEMPERATURA VARIABLE

Sin embargo, debido a que estos tipos de sistemas solo pueden responder a la demanda de un solo termostato, estos solo pueden ser aplicables para edificios con requerimientos de temperatura similares. Si el edificio cuenta con muchos espacios y con diversas necesidades de enfriamiento, cada uno debe ser atendido por su propio sistema. Cuando esto no es posible el efecto es un sistema deficiente con áreas no confortables.

2.5 SISTEMAS DE VOLUMEN DE AIRE VARIABLE

El sistema de volumen de aire variable (VAV) emplea el mismo esquema de distribución de aire que el sistema de volumen constante del apartado anterior con la diferencia que se agrega un variador de frecuencia en el motor ventilador de inyección y se incluyen unos componentes en la red de ductos por cada espacio a zonificar conocidos como cajas terminales o VAV (volumen de aire variable) en este sistema se envía el aire primario a una temperatura constante y varía el flujo o volumen de aire para mantener la temperatura de espacio requerida a las condiciones de carga de cada zona. Figura 2.6.

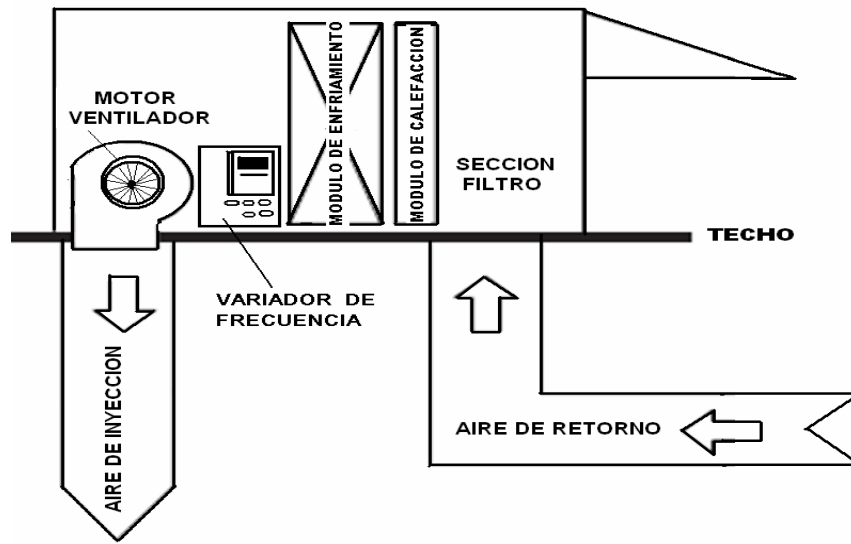


Figura: 2.6 ESQUEMA DE VOLUMEN VARIABLE CON UNIDAD PAQUETE

Un sistema simple de VAV debe contar con lo siguiente:

- Una unidad manejadora de aire con ventilador de volumen variable (variador de frecuencia), un serpentín de enfriamiento, posiblemente un serpentín de calefacción, controles, filtros, caja de mezcla, y opcionalmente un ventilador de retorno o desfogue.
- Ducto de inyección.
- Cajas de Volumen de Aire Variable un su propio termostato para cada zona independiente a controlar.
- Termostato y controlador para cada unidad terminal
- Ducto de retorno o pleno

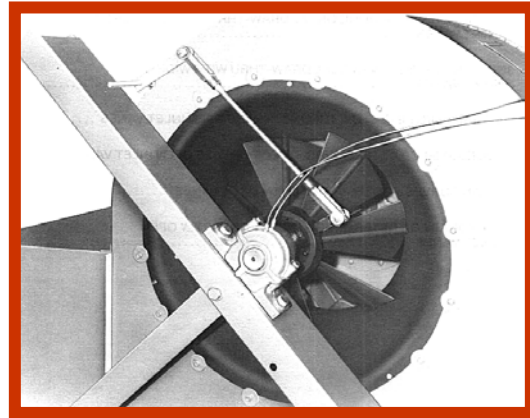
Los sistemas de volumen de aire variable generalmente están diseñados para suministrar aire a un gran número de espacios en cantidades variables, que fluctúan desde un mínimo preestablecido hasta la plena carga del diseño, normalmente el volumen mínimo equivale al 20 o 25 por ciento del máximo flujo de aire del sistema. El gasto volumétrico de aire se controla en las cajas terminales, y la velocidad del ventilador debe responder a los requerimientos del sistema. Debido a que la capacidad del ventilador es directamente proporcional a su velocidad y la potencia requerida es proporcional al cubo de la velocidad), ésta debe disminuir cuando el gasto volumétrico decrece. En este caso deben hacerse varias consideraciones económicas y técnicas. Para estos sistemas la fuente de potencia ideal es el motor eléctrico de velocidad variable. Actualmente existe un sistema de control de velocidad del motor denominado control de frecuencia ajustable a variador de frecuencia, el cual tiene las mejores características desde el punto de vista del costo, confiabilidad y eficiencia. Este tipo de controlador se puede aplicar a la mayoría de los motores de corriente alterna, aun cuando es deseable que éstos sean de alta eficiencia.

Otra manera de Controlar el flujo de aire generado por el ventilador es introduciendo un componente que regule un torbellino o movimiento rotacional del aire de entrada, lo cual alterará sus características de tal modo, que requerirá de menos potencia cuando baje el gasto. Esto se hace instalando alabes de inclinación variable en la entrada del ventilador, los cuales constituirán un sistema de control o regulación de flujo radial mediante un actuador electrónico. A medida que se van cerrando los alabes, se reduce el gasto volumétrico del aire y esto cambia las características del ventilador. Sin embargo, este recurso no es tan efectivo para reducir el requerimiento de potencia del ventilador como lo es la reducción de velocidad

Rotacional del ventilador, aun cuando su costo y su mantenimiento son bajos. El sistema se conoce como Inlet Guide Vanes o IGV por sus siglas en ingles y fue el principio del sistema de aire variable, actualmente esta en desuso. En la figura 2.7 encontramos elementos empleados en un sistema VAV.



VARIADOR DE FRECUENCIA



**ALABES DE INCLINACION VARIABLE
"INTET GUIDE VANES (IGV)"**

Figura: 2.7 ELEMENTOS EMPLEADOS EN UN SISTEMA VAV

Las ventajas que provee un sistema VAV son una buena ventilación, calidad del aire interior y bajos niveles de ruido. La calidad de la ventilación y el consumo de energía del sistema depende de cuan bajo sea el valor del caudal mínimo de aire permitido en el ajuste del control antes de que se active el serpentín de calefacción. Se pueden servir grandes áreas del edificio con una sola manejadora de aire ubicada en una sala de máquinas o en el techo.

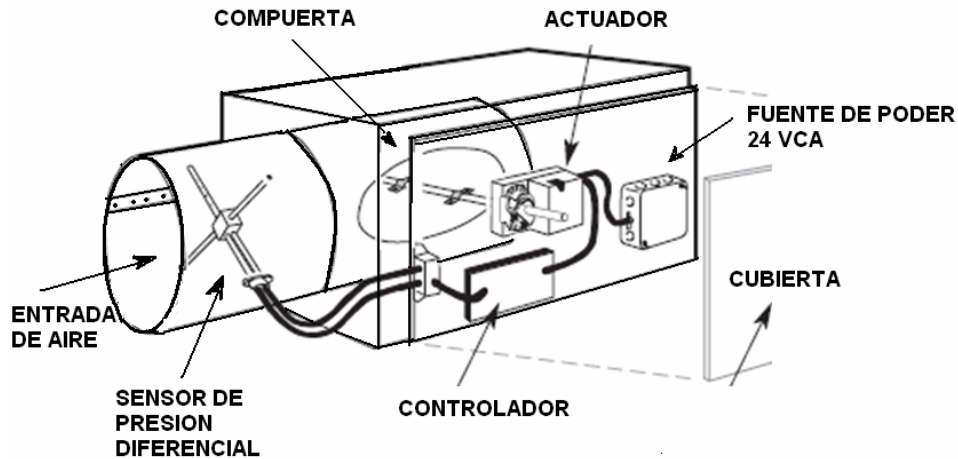
Casi todo el mantenimiento puede efectuarse fuera de los ambientes ocupados sin interferir con las actividades que se llevan a cabo en éstos, por lo tanto no es necesario hacerlo en horas especiales.

Los ambientes pueden rezonificarse sin problema pues solo se requiere la modificación de los ductos de la zona y, si acaso añadir alguna que otra terminal. El consumo de energía varía notablemente entre un sistema y otro pues depende en gran manera de la eficiencia del equipo de refrigeración, el caudal mínimo de aire permitido por los controles antes de activar la calefacción y las opciones de conservación/recuperación de energía que formen parte del sistema.

Requiere mayor espacio para el paso de los ductos, característica de todos los sistemas todo-aire. El costo instalado del sistema con equipos paquete es moderado pero aumenta con el uso de equipos de agua fría instalados en salas de máquinas. La versatilidad de brindar una distribución óptima de temperatura a múltiples zonas alimentadas por un solo equipo en áreas grandes sin sacrificar el confort le ha permitido posicionarse a este sistema como una de las principales alternativas en el diseño de grandes edificios

2.5.1 CAJAS DE VOLUMEN DE AIRE VARIABLE

Una caja o terminal de volumen de aire variable es un gabinete metálico de acero galvanizado que puede ser fabricado en forma circular o rectangular y se constituye de un ensamble con una compuerta o cuchilla la cual tiene en su eje un actuador y aun costado el controlador, figura 2.8. Cuentan con un sensor de flujo en la boca de inyección y cada caja debe de contar con su propio termostato el cual regula la apertura o cierre de la misma en base a los puntos de ajuste de enfriamiento y calefacción. Estas unidades se fabrican en diversos tamaños para manejar volúmenes de aire de 200 a 7000 pies cúbicos por minuto y sus dimensiones le permiten ser instalada entre el plafón y la loza.



Figuras: 2.8 ESTRUCTURA DE UNA CAJA VAV

2.5.2 REJILLAS Y DIFUSORES

Por lado de la entrada llega el ducto de aire ramal principal o secundario y en la salida solo es un pequeño tramo de ducto que concluye de un difusor o rejilla el cual es el que vemos en las instalaciones. Una rejilla o difusor es el término con el cual se conoce al elemento encargado de diluir el aire en el espacio.

Por el lado de la entrada a la caja VAV llega el ducto del ramal principal o secundario y a su salida tenemos un tramo de ducto rígido o flexible que desemboca en una rejilla de inyección o bien en difusores. En la figura 2.9 vemos la trayectoria de este arreglo.

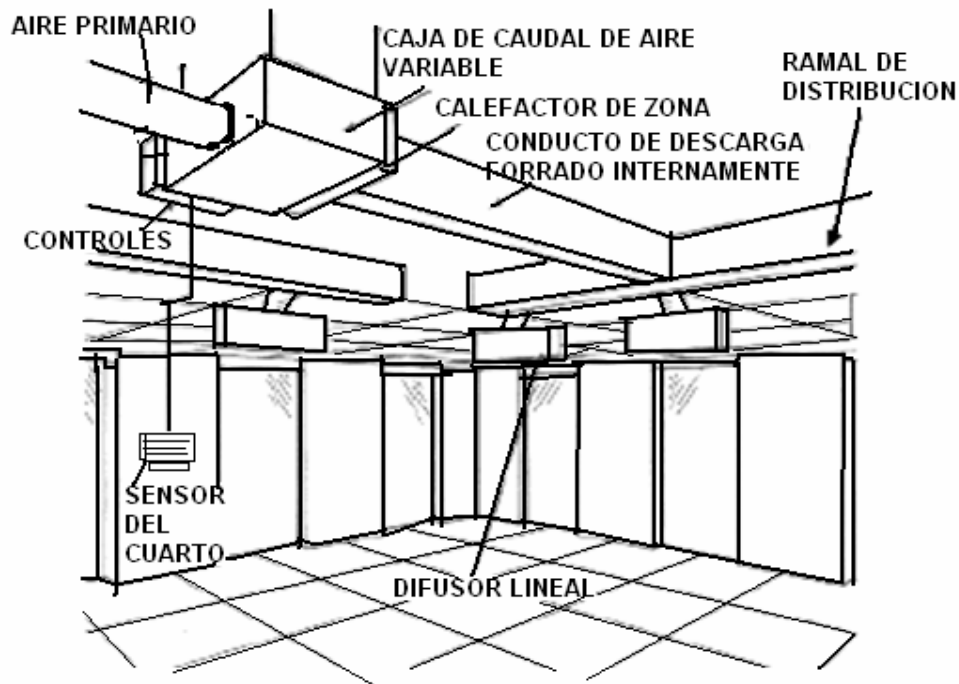


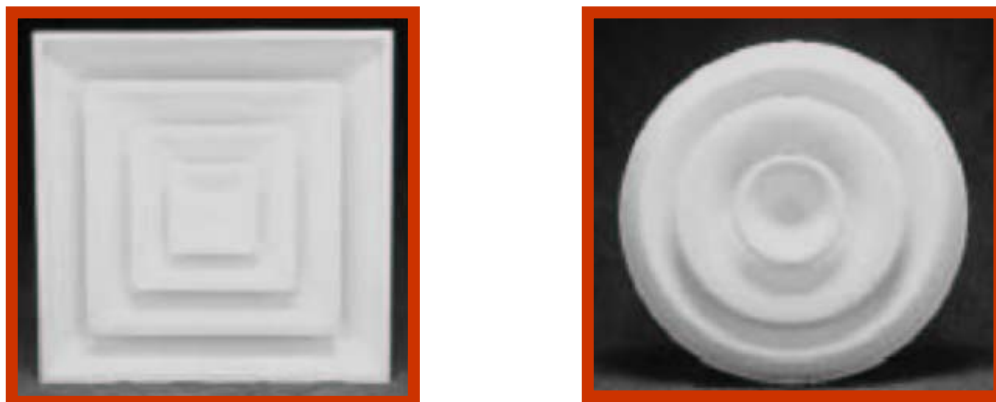
Figura: 2.9 TRAYECTORIA DE DUCTO A REJILLA

En el caso del retorno se emplean rejillas de retorno las hay de tipo rectangular y cuadrangular en la figura 2.10 vemos su representación.



Figura: 2.10 REJILLAS RECTANGULARES DE RETORNO

Por lado de la entrada llega el ducto de aire del ramal principal o secundario y en la salida es solo un pequeño tramo de ducto que concluye en una rejilla o difusor el cual es el que vemos en las instalaciones. Figura 2.11.



Figuras : 2.11 REJILLA DE INYECCION DE AIRE CUADRADA Y CIRCULAR

Debido a la ubicación tan cercana de la caja VAV a la zona a acondicionar existen toda una serie de estándares y guías para optimizar la operación de estas terminales con el mínimo nivel de ruido. En la figura 2.12 se muestra la caja VAV rectangular y circular.

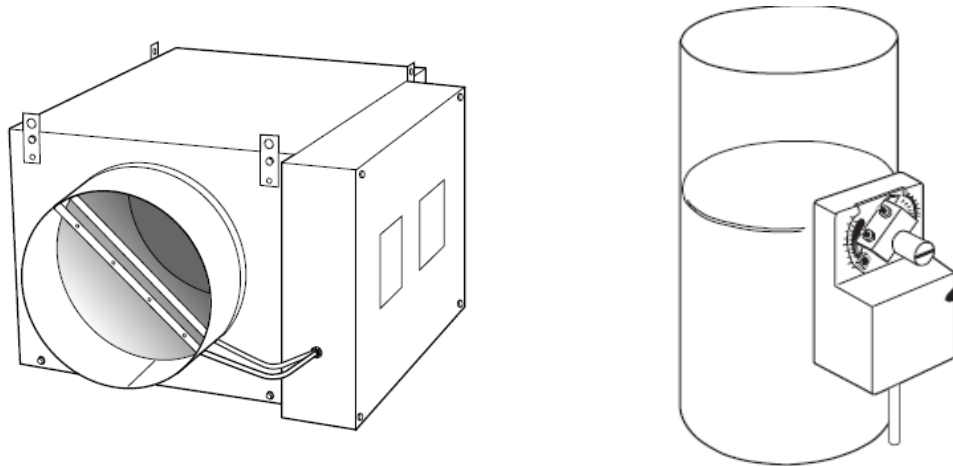


Figura: 2.12 CAJA VAV RECTANGULAR Y CIRCULAR

Los principales beneficios de usar un sistema VAV serian.

- Costo instalado moderado - razonable para un sistema todo-aire.
- Sistema de distribución de aire simple y compacto.
- No requiere sistemas de ventilación y extracción adicionales.
- Está entre los sistemas de costos de operación más bajos.
- Se puede aprovechar el economizador con aire exterior.
- Mantenimiento rutinario limitado a las salas de máquinas (las cajas "VAV" muy rara vez requieren reparación).
- Operación silenciosa.
- No desperdicia área rentable (con equipos instalados en el techo).
- No afecta la estética de los ambientes.
- Terminales y difusores pueden reubicarse fácilmente si fuese necesario.

Esta flexibilidad ha conllevado a desarrollar varios tipos de cajas VAV.

2.6. TIPOS DE CAJAS DE VOLUMEN DE AIRE VARIABLE

Una ventaja que proporciona el usar cajas es que se puede tener calefacción y enfriamiento en la zona, tomar ventaja del factor de diversidad del edificio – esto significa menor utilización de energía y reducción del tamaño de los equipos, lo cual impacta en el monto de inversión inicial- y finalmente brindar confort térmico a cada uno de los ocupantes de su respectiva zona. De esta forma en la misma caja VAV podemos traer calefacción agregando un serpentín de agua o vapor o bien una resistencia eléctrica.

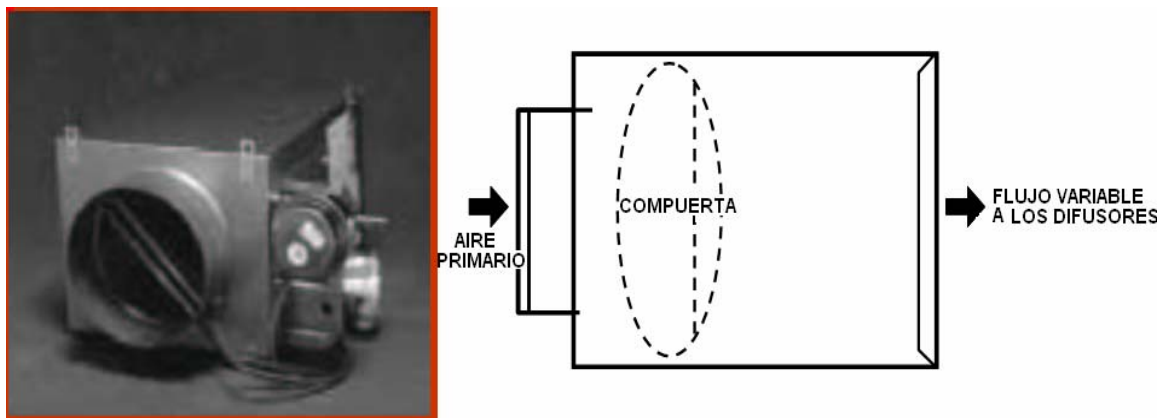
En esencia hay cuatro tipos de cajas VAV.

- Cajas de ducto sencillo
- Cajas con ventilador serial
- Cajas con ventilador paralelo
- Cajas de doble ducto

2.6.1. CAJAS DE DUCTO SENCILLO

Esta es como la que se muestra en la figura 2.13 y es el sistema más básico de Terminal de aire que existe se utiliza para suministrar aire frío. Se le fija un flujo máximo y mínimo de aire –CFM's pies cúbicos por minuto- de acuerdo a sus condiciones de diseño, este tipo de caja se encuentra o utiliza en las superficies interiores de un edificio y por lo regular no se combina con uso de calefacción –eléctrica, agua o vapor- ya que las áreas a las que sirve generan calor debido a la iluminación, equipos y las personas y este es suficiente para acondicionar el área. Cuando se balancean este tipo de cajas se debe tomar en consideración.

- Guiar la caja VAV a su máxima apertura de diseño de enfriamiento
- Algunas cajas tienen que ser ajustadas primero a su mínimo flujo de aire.
- Medir el flujo total de aire a través de una probeta de flujo en la salida.
- Ajustar el flujo actual de la caja para que cumpla las condiciones de diseño
- Cuando el flujo de aire de diseño ha quedado calibrado entonces se coloca una compuerta de balance.
- Ahora ajuste la caja VAV a su mínimo y máximo.



Figuras: 2.13 CAJA DE DUCTO SENCILLO

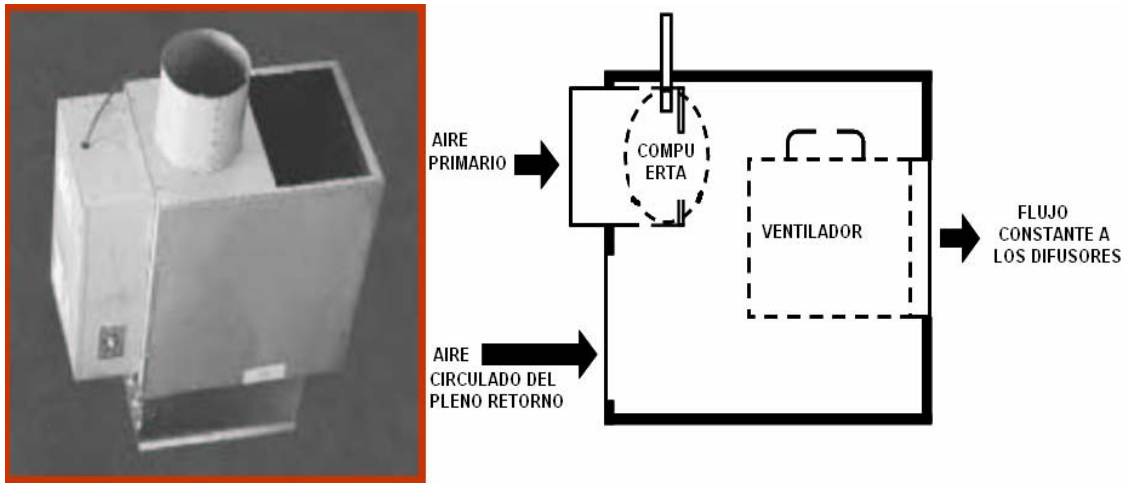
2.6.2. CAJAS CON VENTILADOR SERIAL.

Estas cajas crecen en tamaño debido a que integran en su interior un ventilador que corre sobre el ducto primario y la principal diferencia radica en que este ventilador siempre esta operando. Cuando la temperatura de espacio alcance el modo de enfriamiento la compuerta primaria abre a su flujo de diseño y el ventilador el ventilador toma todo el flujo de aire de su respectiva manejadora. Figura 2.14, el punto mas importante en estas cajas es que el flujo de aire de diseño del ventilador y el aire primario sea el mismo, de otra forma mucho aire primario se rechazará hacia atrás de la caja y cuando no hay suficiente flujo de aire primario el ventilador

Arrastrará aire de retorno mezclándolo con el aire primario causando que la temperatura de descarga se incremente. Cuando la temperatura de espacio es satisfecha la compuerta de aire.

Primario va a su mínimo de diseño y entonces el ventilador arrastra aire d retorno de la parte trasera de la caja para mantener un flujo constante de aire en el espacio acondicionado. Los pasos para ajustar esta caja son.

- Operar la caja a máxima capacidad de enfriamiento.
- Ajustar la velocidad del ventilador hasta alcanzar el volumen de diseño total en la rejilla
- Balancear las salidas al flujo de diseño.

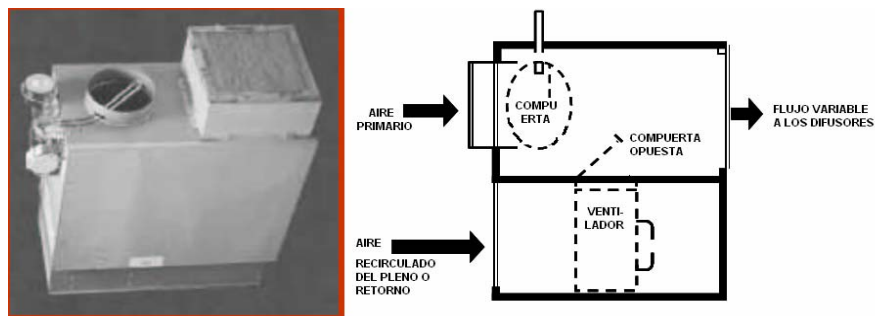


Figuras: 2.14 CAJA CON VENTILADOR SERIAL

2.6.3. CAJAS CON VENTILADOR PARALELO

Esta caja es de un diseño muy simple y fácil de ajustar. El aire primario o flujo de enfriamiento se ajusta como en una caja VAV de ducto sencillo, el concepto básico consiste en abrir la compuerta de aire primario y apagar el ventilador y la calefacción cuando la unidad esta en modo de enfriamiento, en modo de calefacción la compuerta de aire primario se cierra o baja a un mínimo y el ventilador y la calefacción encienden –figura 2.15- El flujo de aire suministrado viene de el retorno de aire o el pleno (arriba del cielo falso) la mayoría de los fabricantes incluyen un filtro antes de que ingrese el flujo de aire al ventilador. Esta caja de ventilador paralelo casi siempre viene acompañada de un elemento calefactor –resistencia eléctrica, serpentín de agua o vapor- y son ampliamente utilizadas para acondicionar la periferia de los edificios de manera que puedan proveer calefacción independiente de las condiciones interiores del sistema y con esto el sistema VAV gana en versatilidad y confort a sus ocupantes. En el caso del ajuste se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones.

- Cuando se realice el ajuste el ventilador debe estar apagado
- Cuando se ajuste el volumen de aire del ventilador, la compuerta de aire primario debe estar cerrada o en la posición mínima de apertura
- Entonces se ajusta la velocidad del ventilador por medio de un controlador de velocidad o una compuerta de descarga esto varia de acuerdo a cada fabricante.
- La temperatura, voltaje y amperaje de calefacción, deberán ser registradas.



Figuras: 2.15 CAJA CON VENTILADOR PARALELO

2.6.4 CAJAS CON DOBLE DUCTO.

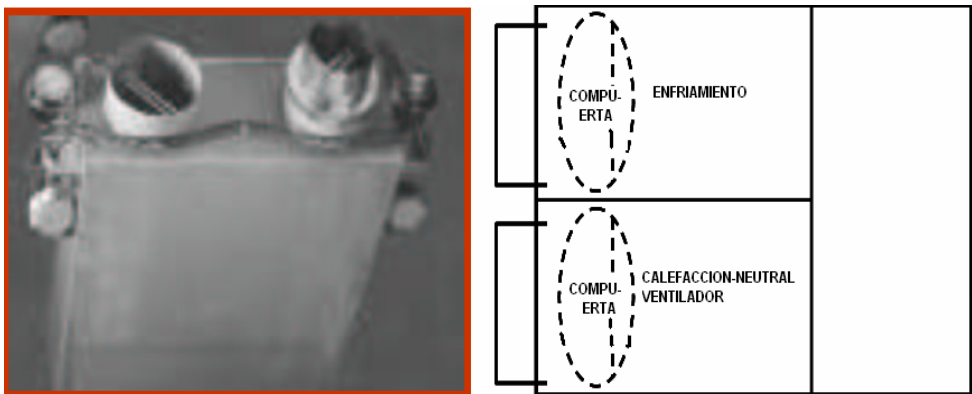
Este tipo de caja se emplea en su mayoría en hospitales y clínicas donde el aire debe tener un flujo constante, cuando la temperatura de espacio demanda máximo enfriamiento la compuerta de aire frío apertura a su máximo flujo de diseño de aire mientras que la compuerta de calefacción va cerrándose y lo contrario ocurre cuando la demanda de la zona es de máxima calefacción. Lo que hace única a este tipo de caja es cuando la temperatura de espacio se ve satisfecha las dos compuertas mezclan su aire frío y caliente para producir un flujo constante al del diseño sin sobre calentar o enfriar el espacio. Cuando se balancea esta caja doble, el lado de enfriamiento y el de calefacción se debe hacer como si fueran dos cajas VAV de ducto sencillo separadas esto se logra cerrando la compuerta de enfriamiento cuando se calibra el lado de calentamiento y el opuesto cuando se calibra el lado de enfriamiento.

Sin embargo esta aplicación tiene sus ventajas y desventajas.

- Mantiene un flujo de aire constante a través del espacio.
- No permite que el aire se estanque y vicie.
- Permite que una mayor cantidad de aire sea filtrado a través de la manejadora.
- Brinda de una cantidad de aire fresco (aire exterior) de forma más constante
- Pero la unidad manejadora de aire necesitará producir aire frío y caliente durante todo el año

Esto implica que un boiler y un enfriador (chiller) deberán operar todo el año.

Por lo cual dos ductos principales deberán correr desde la manejadora a través del edificio para proveer aire frío y caliente, requiriendo más espacio en el pleno. En la figura 2.16 se muestra una caja con doble ducto.



Figuras: 2.16 CAJA CON DOBLE DUCTO

Otros diseños de los sistemas de volumen constante es una unidad manejadora de aire que cuenta con un ventilador y un serpentín de enfriamiento para enviar aire frío primario a todas las zona y así satisfacer la demanda de las zonas que requieren ser enfriadas. Sin embargo, también cuentan en cada zona con un serpentín de recalentamiento para proporcionar aire caliente a las zonas que así lo requieran. Figura 2.17 Por supuesto, con esta aplicación tendremos un desperdicio de energía al calentar el aire que previamente fue enfriado. Esta aplicación no es muy usada debido al gran desperdicio de energía, solo se emplea en aplicaciones especiales, como por ejemplo, cuando hay una fuente de calor "gratuita" (por ejemplo: recuperadores de calor).

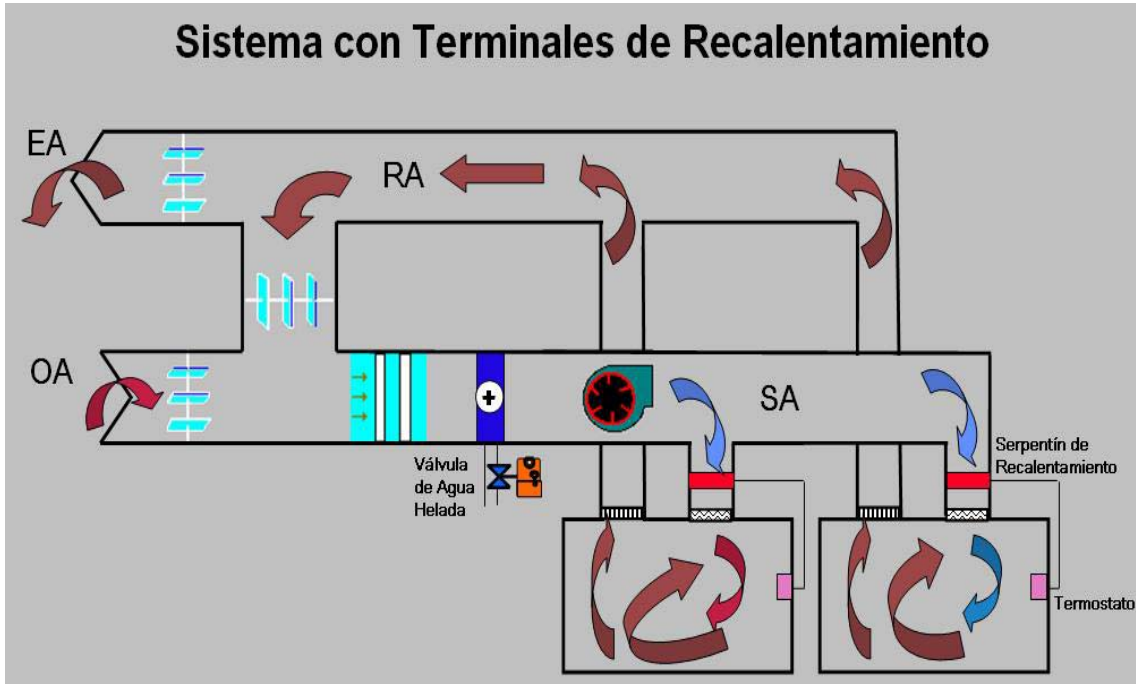
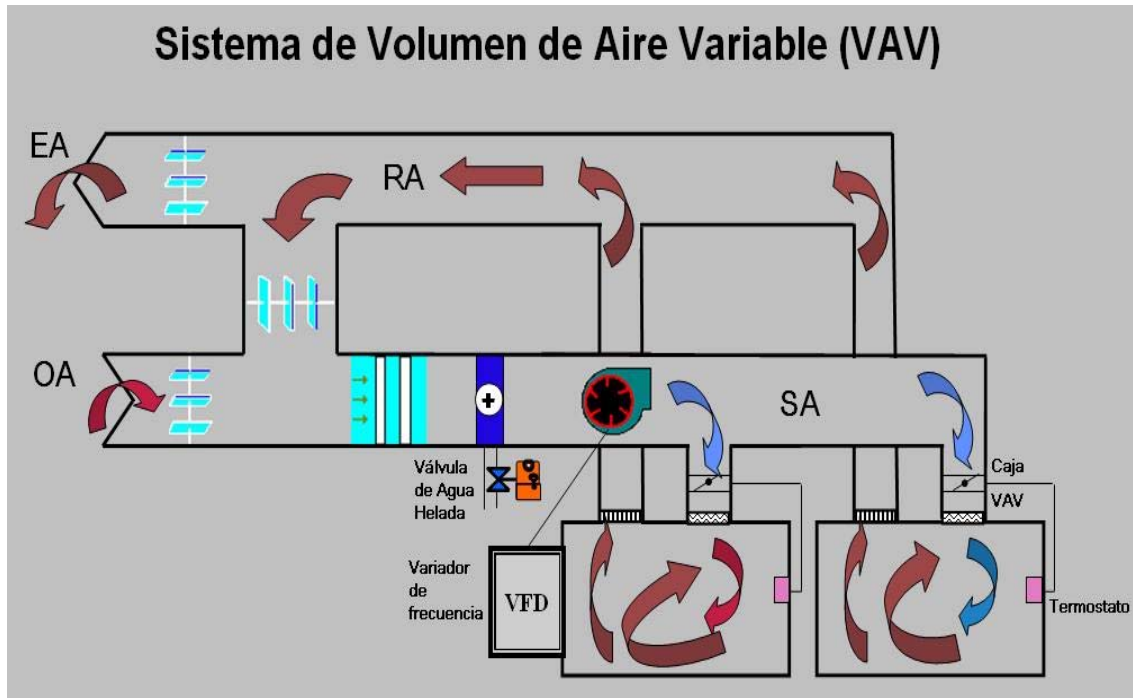


Figura: 2.17 SISTEMA CON TERMINALES DE RECALENTAMIENTO



Figuras: 2.18 SISTEMA DE VOLUMEN DE AIRE (VAV)

Los Sistemas de Volumen de Aire Variable, figura 2.18, generalmente están diseñados para suministrar aire a un gran número de espacios en cantidades variables, que fluctúan desde un mínimo preestablecido hasta la plena carga del diseño, normalmente el volumen mínimo equivale al 20 o 25 por ciento del máximo. El gasto volumétrico de aire se controla en las cajas terminales, y la velocidad del ventilador debe responder a los requerimientos del sistema. Debido a que

Las cajas de volumen de aire variable modulan el flujo de aire suministrado a cada espacio mediante un actuador y un controlador. Existen diversos tipos de cajas VAV pero todas dentro de dos clasificaciones:

- 1) Control por Presión Dependiente
- 2) Control por presión Independiente.

2.7. METODO DE CONTROL POR PRESION DEPENDIENTE

Cajas VAV con Control por Presión Dependiente: La compuerta de zona es controlada proporcionalmente entre las posiciones máxima y mínima de la compuerta de acuerdo a la desviación de la temperatura de cuarto con respecto a su punto de ajuste o consigna (setpoint) programados. El flujo actual varía con la presión del aire de inyección y el área de la abertura de la compuerta. A esto se le llama modulación de la compuerta. También podemos decir que una caja VAV con control por presión dependiente es aquel en donde el control de ésta es en base a la temperatura que se requiere en un área específica, sin importar la cantidad de flujo de aire que este pasando por la caja, es un sistema que depende del flujo de aire que proporciona el equipo central. En la figura 2.19 se muestra este sistema.



Figuras: 2.19 VAV – PRESION DEPENDIENTE

2.8. METODO DE CONTROL POR PRESION INDEPENDIENTE

Cajas VAV con Control por Presión Independiente: La compuerta es ajustada de forma proporcional para mantener un volumen de aire fluyendo a través de la compuerta. El termostato de zona posiciona a la compuerta basándose en la consigna del flujo de aire y en la desviación de la temperatura de cuarto con

respecto a su respectiva consigna. En otras palabras, una caja VAV con control por presión independiente es aquel en donde el control de ésta se basa en la temperatura que se requiere en un área específica y en el volumen de flujo de aire máximo y mínimo requeridos; es decir, la caja siempre buscará balancear y regular el flujo de aire que fluya a través de ella, independientemente de lo que el sistema central este proporcionando. Figura 2.20.



Figuras: 2.20 VAV PRESION INDEPENDIENTE

Debido a que las cajas VAV se encuentran constantemente modulando, la presión estática del ducto principal también está cambiando, por lo que se requiere controlar la velocidad del ventilador o la posición de los alabes de tal forma que se mantenga constante la presión estática en algún lugar del sistema de ductos. Errónea y muy frecuentemente se ubica al sensor de presión estática casi inmediatamente a la salida del ventilador, por lo que se recomienda colocarlo más adelante, de manera tal que la caja terminal más distante tenga un nivel aceptable de presión estática. La recomendación es que se coloque casi al final del ramal principal o por lo menos a dos tercios de la distancia total del sistema de ductos, que es donde se detecta mejor la caída de presión del sistema.

Como conclusión podemos decir que una muy buena razón para usar los sistemas VAV es el potencial de ahorro de energía al operar los sistemas a cargas parciales, lo cual deriva en otros dos beneficios adicionales. Uno es la reducción del volumen de aire mediante el variador de frecuencia y como consecuencia menor consumo del motor del ventilador. El segundo es la reducción del flujo de aire a través del serpentín de enfriamiento lo cual ocasiona que el sistema de refrigeración disminuya su capacidad para estabilizar la temperatura del aire primario, y como consecuencia un ahorro de energía en refrigeración comparado con una operación a plena carga.

Sin embargo, otra razón para emplear los sistemas VAV es que tenemos confort en cada una de las zonas a bajo costo, lo cual aumenta la productividad de los ocupantes del edificio al estar laborando en un ambiente con la más alta calidad.

CAPITULO III

3. FUNDAMENTOS DE CONTROL.

3.1 INTRODUCCION.

Un moderno punto de vista de los sistemas de control es aquel que emplea retroalimentación para controlar un sistema sin importar los disturbios externos. Los sistemas de control hacen que otros sistemas hagan lo que nosotros deseamos que hagan, sin que nosotros tengamos que hacer todo el trabajo. Esta es la razón por la que los sistemas de control son empleados alrededor de nosotros en la tecnología moderna. Estos tienen una gran variedad de aplicaciones en una infinidad de campos, que sin ellos, muchos de los avances tecnológicos actuales no serían posibles. Sistemas de control son encontrados en nuestras casas, autos, fábricas, telecomunicaciones, medicina, transporte, en el área militar y sistemas aeroespaciales por mencionar solo algunos. Ejemplos de los Sistemas de Control en nuestra vida cotidiana son un termostato que regula la temperatura ambiente de un cuarto o el control de crucero que regula la velocidad de un automóvil. Típicamente, el cerebro de un sistema de control es un algoritmo que procesa las señales que son aplicadas a la entrada de un sistema para que todas las salidas actúen de forma tal para lograr los valores de referencia deseados. Implementaciones prácticas involucran a un controlador, un sensor (o sensores) que miden la respuesta del sistema, y un actuador (o actuadores) que aplican las acciones requeridas al sistema. Las acciones pueden ser fuerzas físicas, señales eléctricas, productos químicos, o cualquier otra variable que afecte el estado del sistema. La evolución de los sistemas de control es muy larga e interesante, el registro más antiguo de un sistema de control data alrededor del año 300 A.C. Desde entonces los sistemas de control han jugado un papel esencial en el desarrollo de una amplia variedad de tecnología.

A lo largo de este capítulo expondremos una breve historia del control, la definición de sistema y sistema de control, los tipos de lazos de control, componentes de un sistema de control, controladores de propósito específico y general, tipos y modos de control, tipos de señales de entrada y salida, características de dispositivos periféricos como sensores y actuadores, veremos como calcular y seleccionar un actuador para compuerta y una válvula de control, los sistemas con control digital directo, la arquitectura de los sistemas de control digital directo (DDC) y la interoperabilidad con otros sistemas de control.

3.2 BREVE HISTORIA DEL CONTROL.

Los primeros desarrollos de los Sistemas de Control Automático datan hace más de dos mil años. El primer registro de un dispositivo de control con retroalimentación es del antiguo reloj de agua de Ktesibios, un

barbero y mecánico que vivía en Alejandría, Egipto alrededor del siglo tercero A.C., cuando aquella ciudad del norte de Africa era el centro científico e intelectual del mundo (Euclides, Aristóteles y Erastótenes eran amigos de Ktesibios). Este reloj de agua estaba conformado por dos tanques de agua, uno de almacenamiento (superior) y otro con un indicador de tiempo (inferior), figura 3.1. Al Tanque inferior se le hacía fluir agua a través de un orificio en un cierto período de tiempo y regulando el nivel de agua en el tanque superior por medio de un flotador. . El problema con este reloj es conseguir que el flujo de agua sea uniforme a nivel en la vasija. La presión hidrostática causa que el agua fluya del nivel de almacenamiento superior de la vasija a el nivel de medida inferior en la vasija, a mayor nivel de agua en la vasija de almacenamiento mayor presión hidrostática y de la misma manera mayor flujo de agua hacia el recipiente de medición lo que hace que el tiempo como si no hubiera mañana de igual forma si el nivel de agua en el recipiente de medición es muy lento la cantidad de presión hidrostática es menor por lo cual es flujo fluye muy despacio y el tiempo de medición es como se si arrastrará un caracol.

El reloj de Ktesibios tiene un tubo pequeño en medio de la vasija entre el recipiente de almacenamiento y el de medición

La regulación automática del nivel de agua y el flujo de agua desarrollado por Ktesibios fue introducido en muchos campos de aplicación como los tubos comunicantes de agua, sistemas de irrigación, lámparas de aceite. En la figura 3.1 se muestra el principio del reloj de agua de Ktesibios.

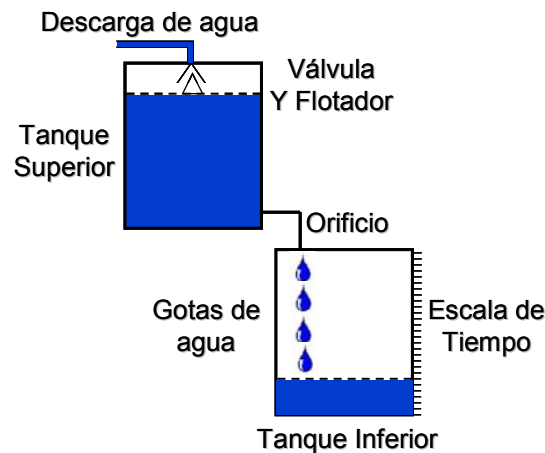


Figura: 3.1 PRINCIPIO DEL RELOJ DE AGUA DE KTESBIOS.

Un reloj mecánico desarrollado en 1300 hizo que la regulación del flujo de agua fuera innecesaria para medir el tiempo, pero este principio de control continuo con su marcha triunfal en otras áreas de aplicación. A la fecha la regulación del nivel de agua en la mayoría de los tanques sanitarios de casas y oficinas están basados en los principios de Ktesibios

El termostato de Drebbel un instrumento diseñado para la regulación automática de temperatura, Drebbel como otros alquimistas de su tiempo, fracasó en sus intentos por cambiar una guía metálica a oro y decidió que esta falla se debía a las variaciones tan grandes en la temperatura del horno. El diseño un mini horno en 1620 en el cual la regulación automática de temperatura al valor estándar deseado fue posible.

El horno tenía un tubo de cristal lleno de alcohol el cual estaba conectado a otro tubo que tenía mercurio en su interior. El tubo de mercurio estaba conectado a una barra metálica en vueltas a una portezuela que servía como guía a la inyección de aire fresco necesario en el quemador. Cuando el horno estaba muy caliente el alcohol y el mercurio se expanden debido al incremento de temperatura y la barra de metal hace estrecha la alimentación de aire fresco a través de la portezuela, mientras tanto la llama en el horno fue reducida y la temperatura ajustada al nivel deseado. Correspondientemente cuando la temperatura del horno es muy baja el

alcohol y el mercurio se contraen y la barra de metal abre la alimentación de la portezuela para la entrada de aire fresco. La llama en el horno incrementa y la temperatura permanece bajo control. El ajuste de la temperatura a diferentes valores fue posible cambiando la longitud de la barra de metal.

Drebbel fue capaz de ajustar la temperatura de un horno automáticamente, pero él no podía hacer que el oro saliera de la guía. Por esta razón este termostato recibió muy poca atención y fue olvidado. Cien años más tarde un granjero Francés emplea el termostato de Drebbel cuando desarrollaba una máquina incubadora.

Hoy el termostato de Drebbel se encuentra en muchas casas, negocios y oficinas cumpliendo el mismo principio del horno, regular la temperatura, y un poco más allá al regular la temperatura de sistemas de calefacción, cocimiento, refrigeradores, congeladores y despachadores de agua.

La máquina de vapor de Watt permitió la regulación automática de la velocidad de rotación. James Watt (1736–1819) no inventó la máquina de vapor como muchos claman. Las máquinas de vapor habían existido décadas antes de Watt hiciera sus experimentos sin embargo lo que hizo fue mejorar la máquina de vapor en muchas formas, lo más revolucionario que Watt hizo fue las bolas voladoras, un ejemplo es la regulación de la velocidad de rotación del motor (gobernador bola voladora) el cual hizo público Watt en 1769.

Antes de la invención de Watt, la rotación de la velocidad de las máquinas de vapor variaba significativamente y el control de los motores era extremadamente difícil, el regulador de Watt consistía de bolas de metal las cuales eran aún rotatorias con unos rodillos fijos. Las bolas de metal eran con cadenas las cuales contenían el flujo de vapor cuando se liberaban. La fuerza de la gravedad empujaba las bolas hacia abajo. Cuando las bolas metálicas rotaban muy rápido, la fuerza centrífuga libera las bolas y cual el flujo de vapor y la velocidad de rotación permanecen al nivel deseado. En la figura 3.2 se aprecia este invento.

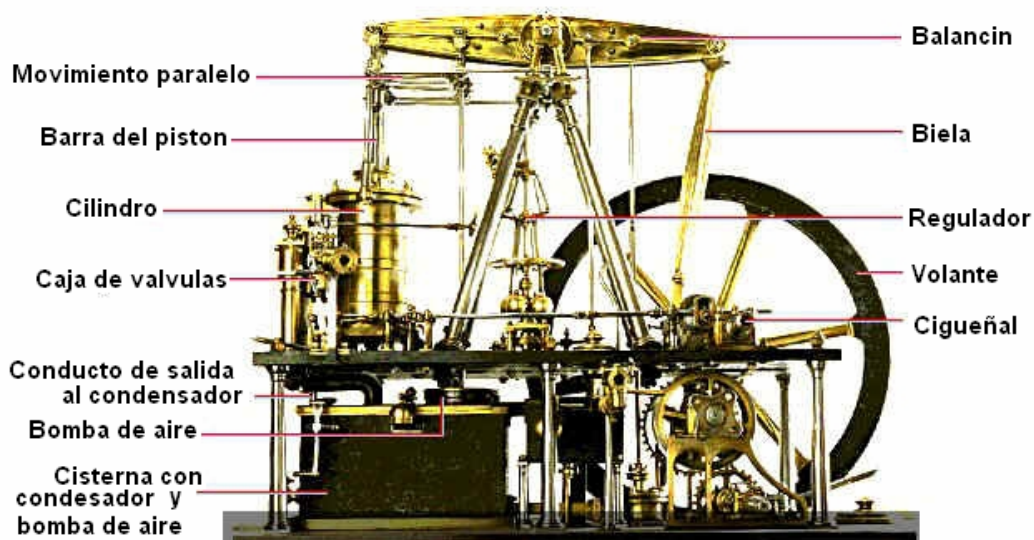


Figura: 3.2 MAQUINA DE VAPOR DE WATT

Cuando la rota muy rápido, la fuerza centrífuga libera las bolas y cual el flujo de vapor y la velocidad de rotación permanecen al nivel deseado. La fuerza de gravedad disminuye las bolas y cuando la velocidad de rotación es muy lenta, cada vuelta libera más vapor para rotar habilitando la velocidad de rotación para permanecer al nivel deseado.

La invención de Watt rápidamente se propagó y se puede decir que ha sido un factor esencial en la diseminación de la industrialización. Hoy la mayoría de las máquinas constan de partes rotatorias, artículos como las lavadoras, vídeo caseteras, licuadoras, reproductores de disco compacto, autos, motores etcétera son parte de nuestras vidas

Este fue ciertamente un dispositivo exitoso como lo fue un reloj de agua similar al diseñado en Bagdad cuando los mongoles capturaron la ciudad en 1258 D.C. Una gran variedad de dispositivos automáticos han sido empleados a través de los siglos para lograr tareas útiles o simplemente para entretenimiento. Un ejemplo relacionado con el entretenimiento es un autómatas, popular en Europa en los siglos 17 y 18, teniendo figurines que bailaban y repetían la misma tarea una y otra vez; éstos autómatas son ejemplos de lazos de control abierto, lo cual será descrito posteriormente. Hace muchos años los dispositivos automáticos de control retroalimentado o de lazo cerrado incluían el regulador de temperatura atribuido a Debbrel en 1620 y el gobernador centrífugo utilizado para regular la velocidad de las turbinas de vapor desarrollado por Watt en 1788.

En su documento Gobernadores de 1868 J.C. Maxwell (el descubridor de las ecuaciones de campo electromagnético) fue capaz de explicar las inestabilidades exhibidas por el gobernador utilizando ecuaciones diferenciales para describir el control diferencial. Así se demostró la importancia y utilidad de modelos y métodos matemáticos para comprender el complejo fenómeno y con ello señaló el principio matemático de la teoría de control y sistemas. Los elementos de la teoría de control aparecieron antes de Maxwell pero no eran tan convincentes como el análisis de Maxwell.

La teoría de control hizo significantes aportes en los siguientes 100 años, nuevas técnicas matemáticas hicieron posible controlar más preciso, sistemas dinámicos significativamente más complejos que el gobernador original. Estas técnicas incluyen desarrollos en control óptimo entre 1950 y 1960 seguidos por el progreso en métodos de control adaptativo y óptimo entre 1970 y 1980. Aplicaciones de la metodología de control han ayudado a hacer posible los viajes en el espacio y la comunicación satelital, han hecho mas segura y eficiente la aviación, máquinas de autos mas optimas y mas eficientes procesos químicos por mencionar solo algunos.

3.3 ¿QUE ES CONTROL?

Un Sistema de Control es una interconexión de componentes con el objetivo de proporcionar una respuesta deseada del sistema. La base para el análisis de un sistema es el fundamento proporcionado por la teoría de los sistemas lineales, la cual supone una relación de causa-efecto para los componentes de un sistema. Por tanto, un componente o proceso que vaya a ser controlado puede ser representado mediante un bloque como el de la figura 3.3

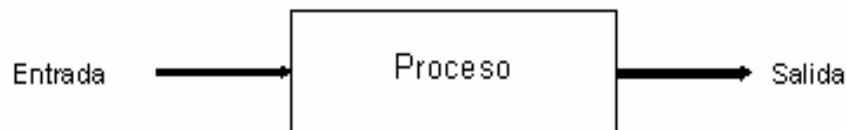


Figura: 3.3 Proceso a controlar

Un sistema de control por medios automáticos en vez de humanos se conoce generalmente como automatización. La automatización es frecuente en las industrias química, automotriz, textil, papelera y siderúrgica, entre otras. Las máquinas automáticas se usan para aumentar la producción de una planta por

trabajador, a fin de compensar los salarios crecientes y los costos inflacionarios. Por ésta razón, las industrias están interesadas en la productividad de sus plantas por trabajador.

En la actualidad, así como en la industria, encontramos edificios totalmente automatizados en los cuales su operación es muy confortable, eficiente y segura.

Una de las mayores preocupaciones de los administradores de edificios es el ahorro de energía, lo cual se ve reflejado en un ahorro considerable de dinero. El mayor porcentaje de consumo de energía lo ocasionan los sistemas de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (HVAC - Heating, Ventilating and Air Conditioning), figura. 3.4. Un correcto diseño en el sistema de control brindará a los ocupantes un ambiente confortable, mejorará la productividad de los empleados, control de humos en caso de incendio y monitoreo de todo el equipo de control del edificio mediante la operación de una computadora y equipo de telecomunicaciones. Los equipos de control son esenciales para propia operación del sistema y de ser posible deberá ser considerado desde el inicio del diseño del proceso.

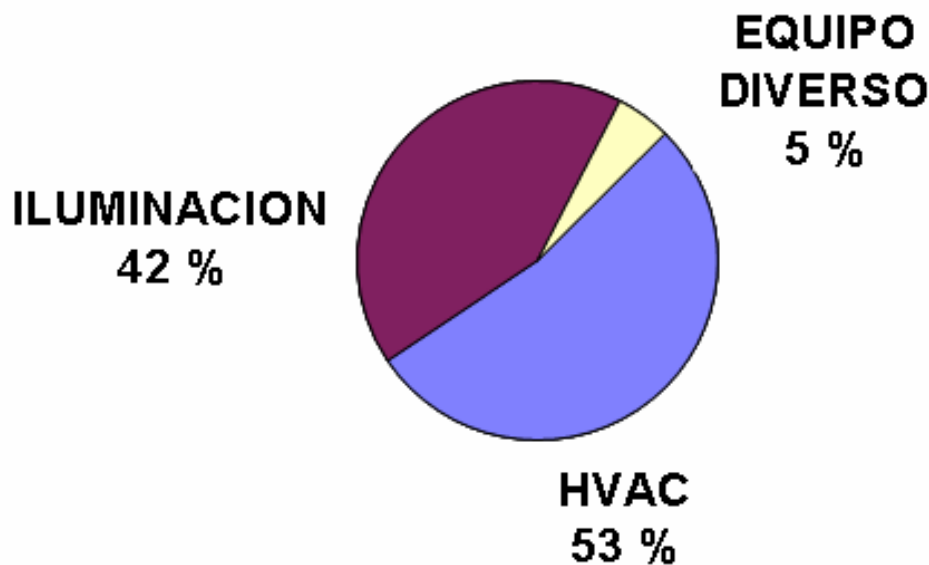


Figura: 3.4 DISTRIBUCION DEL CONSUMODE ENERGIA TIPICO

El control automático propiamente aplicado asegura que el correcto diseño del sistema HVAC mantenga un ambiente confortable bajo un amplio rango de las condiciones de operación muy económico. Los controles automáticos regulan las salidas del sistema HVAC en respuesta a la variación de las condiciones internas y externas para mantener las condiciones generales de confort en áreas de oficina y unos reducidos límites de humedad y temperatura en áreas de producción de productos de calidad.

Los controles automáticos optimizan la operación de los sistemas HVAC. Ellos pueden ajustar temperaturas y presiones automáticamente para reducir la demanda cuando las áreas se encuentran desocupadas y regular la refrigeración y calefacción para proveer condiciones de confort, limitando así el uso de la energía. Los controles de límites proporcionan una operación segura de los equipos HVAC y prevén daños al personal y al sistema. Algunos ejemplos de controles de límite son: controladores de bajo límite de temperatura los cuales

ayudan a prevenir congelamiento en serpentines de agua o intercambiadores de calor, sensores de flujo de agua que aseguran la operación de equipos como enfriadores, bombas, etc. y sensores de flujo de aire para asegurar la operación de un ventilador. En caso de condiciones de incendio, la distribución del aire controlado permitirá la libre evacuación del humo y la detección de humo en ductos de aire podrán cerrar las compuertas para prevenir que se extiendan el humo y los gases tóxicos.

3.4. CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL AUTOMATICO HVAC

Los controles automáticos son utilizados donde quiera que una condición variable deba ser controlada. En Sistemas de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (HVAC), las condiciones más comúnmente controladas son: temperatura, humedad, presión y flujo. Las aplicaciones de Sistemas de Control Automático van desde una simple regulación de temperatura residencial hasta el control de procesos industriales.

3.5 SISTEMAS DE CONTROL ELECTRONICO.

Un sistema de control electrónico está compuesto por un sensor, un controlador y un elemento final de control. Los sensores usados en sistemas electrónicos de control son muy simples y pequeños dispositivos que proveen estabilidad, amplio rango, linealidad y rápida respuesta. El controlador electrónico es un dispositivo de estado sólido que proporciona control sobre una porción discreta del rango del sensor y genera una corrección de señal amplificada para controlar el elemento final de control. Los controladores electrónicos proveen control de dos posiciones, control proporcional, o control proporcional integrado (PI).

Las características de los sistemas de control electrónico son:

- Los controladores pueden ser localizados remotamente de los actuadores y los sensores.
- Los controladores pueden aceptar una variedad de entradas.
- El ajuste remoto para múltiples controles puede ser localizados juntos o inclusive en donde no se encuentren los sensores y actuadores.
- Los sistemas de control electrónico pueden contar con control complejo y esquemas de sobremando (override).
- Las salidas de tipo universal pueden interfazar con una diversidad de actuadores. La mayoría de los sensores y actuadores pueden ser usados directamente con sistemas con controladores basados en microprocesador (DDC).

Los sensores y dispositivos de salida (actuadores, relevadores) usados por sistemas de control electrónico son generalmente los mismos que se emplean en sistemas basados en microprocesadores. La diferencia entre sistemas de control electrónico y sistemas basados en microprocesadores estriba en el manejo de las señales de entrada. En un sistema de control electrónico, la señal de un sensor analógico es amplificada, posteriormente comparada con la señal del set-point o con la señal de sobremando (override) a través de una comparación de voltaje o corriente con los circuitos de control. En un sistema basado en microprocesadores, la señal proveniente de los sensores de entrada es convertida en forma digital, cuando las instrucciones discretas (algoritmos) desarrollan los procesos de comparación y control.

Los sistemas electrónicos de control generalmente tienen las siguientes características:

Controlador - Bajo voltaje, estado sólido.

Entradas - 0 a 1 VDC, 0 a 10 VDC, 4 a 20 mA, sensor de temperatura resistivo, termistor, termopar.

Salidas - Cualquier dispositivo de 2 a 10 VDC o 4 a 20 mA.

Modo de Control - Dos posiciones, proporcional, Proporcional Integral (PI), por pasos.

3.6 SISTEMAS DE CONTROL BASADO EN MICROPROCESADOR

Los controladores basados en microprocesador son empleados frecuentemente en edificios comerciales. Estos controladores miden las señales provenientes de los sensores, desarrollan rutinas de control dentro del programa y toma acción correctiva mediante el control de las señales de salida y actuadores. Debido a que los programas operan en forma digital, los controladores desarrollan lo que se conoce como Control Digital Directo (DDC). Los controladores basados en microcontrolador pueden ser usados como controladores independientes (stand - alone) y pueden ser incorporados dentro de un sistema de administración de edificios utilizando una computadora personal (PC) como un huésped (host) dentro de la red para proveer funciones adicionales.

3.7. CONTROL BASADO EN COMPUTADORA

Los sistemas de control basados en computadora se encuentran disponibles como una alternativa a sistemas de control neumático y electrónico desde la mitad de la década de los sesentas. Las primeras instalaciones requirieron de una central como una unidad de procesamiento digital, pero éstas eran muy caras y la aplicación era limitada a grandes edificios. La confiabilidad de este sistema no era adecuada debido a que la pérdida de la computadora central significaba la pérdida de todo el sistema de control. Los avances en la microtecnología, particularmente la integración a gran escala (LSI), dando respuesta a los problemas de costo y confiabilidad. La introducción de los microprocesadores, por ejemplo una computadora en un chip y las memorias de alta densidad, redujeron los costos y el tamaño en forma considerable, incrementando la flexibilidad de aplicación figura 3.5. Los programas de los microprocesadores incluyen la aritmética, lógica, y elementos de control de las grandes computadoras, dando como resultado una potencia computacional a muy bajo costo para aplicaciones de unidades manejadoras de aire, individuales, intercambiadores de calor, unidades terminales de volumen de aire variable (VAV) o todo el equipo requerido. Los controladores basados en microprocesador permiten control digital distribuido a nivel de zona, nivel de cuarto o a todo el edificio.

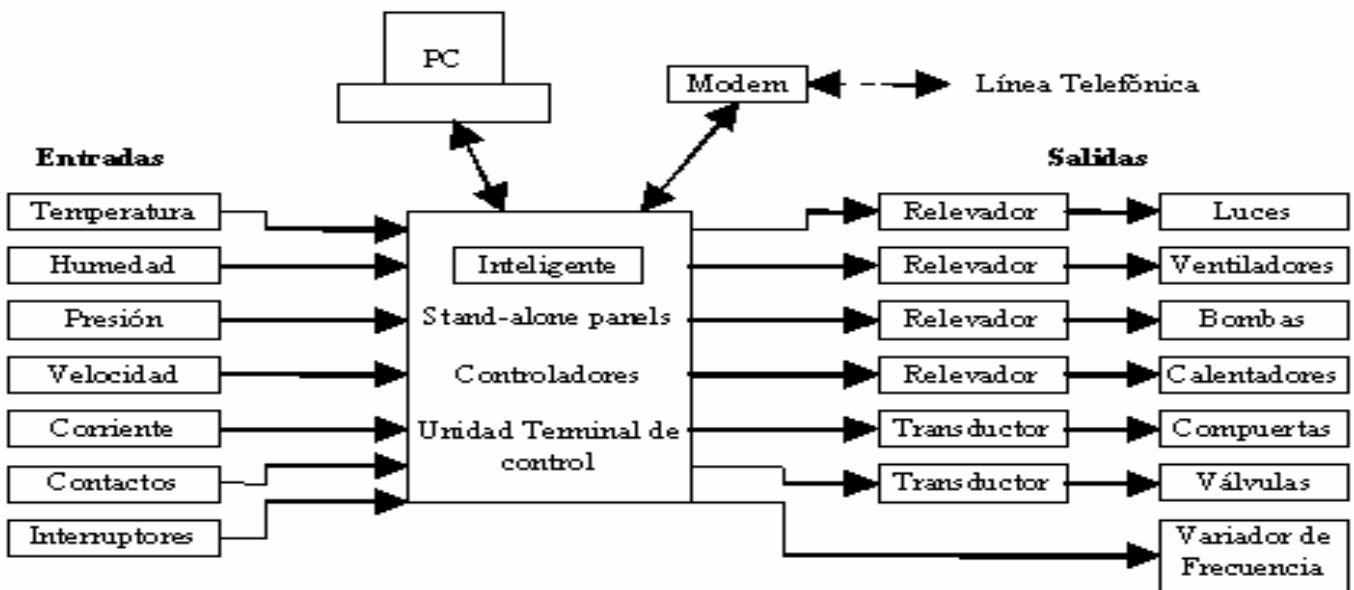


Figura: 3.5 ESQUEMA DE CONTROL DIGITAL DIRECTO (DDC).

3.8. VARIABLES CONTROLADAS

El control Automático requiere de un sistema en el cual exista una variable controlada. Un sistema de control automático controla la variable manipulando una segunda variable. La segunda variable manipulada provoca los cambios necesarios en la variable controlada.

Por ejemplo: En un cuarto calentado por un radiador, el cual recibe vapor por medio una caldera, el termostato mide la temperatura (variable controlada) de el aire del cuarto (medio controlado) en un lugar específico. Cuando en el cuarto disminuye la temperatura, el termostato opera una válvula que regula el flujo (variable manipulada) de vapor (agente de control) a través de la caldera. De esta manera, el radiador proporciona el incremento de la temperatura para calentar el aire del cuarto. Ver Figura 3.6.

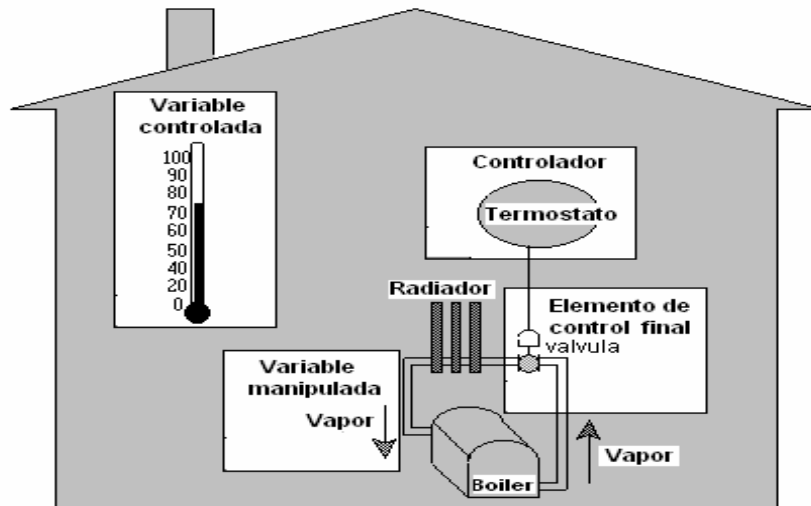


Figura: 3.6. SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO

3.9. LAZOS DE CONTROL

En un sistema de aire acondicionado, la variable controlada es mantenida variando la salida de un equipo mecánico por medio de un circuito automático de control. Un lazo de control consta de un elemento sensor, tal como un sensor de temperatura, que recibe una entrada; un controlador que procesa esa entrada y produce una señal de salida; y un elemento final de control, tal como una válvula que opera de acuerdo a la señal de salida. En la figura 3.7 se muestra a bloques los componentes de un circuito.

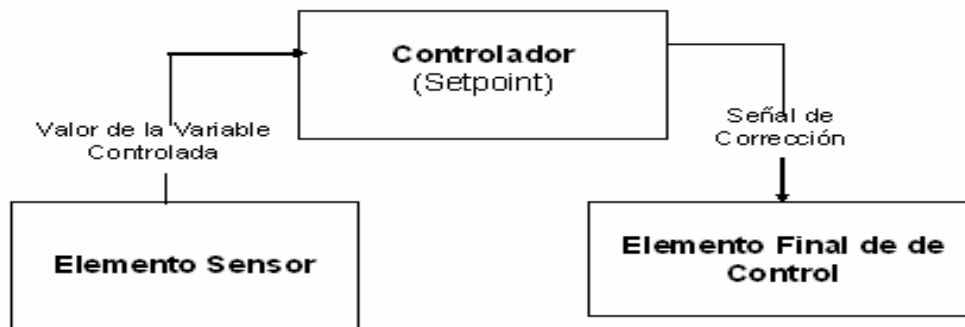


Figura: 3.7 COMPONENTES DE UN CIRCUITO DE CONTROL

Las aplicaciones de los sistemas de control usan dos tipos de circuitos: abierto y cerrado.

En un proceso existe una relación entrada-salida que es representada por la relación causa-efecto de este, para proporcionar una variable de señal de salida. Un sistema de control de circuito abierto utiliza un regulador o actuador de control a fin de obtener la respuesta deseada. Figura 3.8.

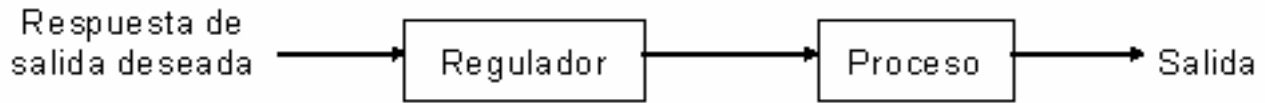


Figura: 3.8 SISTEMA DE CONTROL DE CIRCUITO ABIERTO

Un sistema de circuito abierto asume una relación fija entre la condición controlada y la condición externa. Un ejemplo de circuito abierto sería el control de calor radiante del perímetro basado en la señal de la entrada de un sensor de temperatura exterior. Una bomba circulante y una caldera son energizadas cuando la temperatura del aire exterior cae a un valor prefijado y la temperatura o flujo del agua es controlada proporcionalmente en función de la temperatura exterior. Un sistema de lazo abierto no toma en cuenta cambios en la condición del espacio de ganancias de calor internas, infiltración/ex filtración, ganancia solar u otras variables en el edificio. El control de lazo abierto por sí mismo no provee un control eficiente y puede resultar en bajo calentamiento o alto calentamiento. Por esta razón, los sistemas de lazo abierto no son comunes en aplicaciones comerciales o residenciales.

En contraste con un sistema de control de circuito abierto, el sistema de control de circuito cerrado utiliza una medición adicional de la salida real, para compararla con la respuesta deseada. En la figura 3.9 se muestra un sistema de control simple de circuito cerrado con retroalimentación. La definición estándar de un sistema de control con retroalimentación es la siguiente: un sistema de control con retroalimentación es aquel que tiende a mantener una relación prescrita de una variable del sistema con otra, comparando funciones de éstas variables y usando las diferencias como medio de control. Figura 3.9.

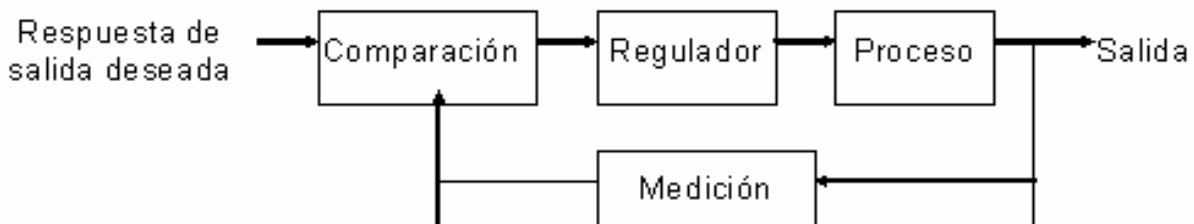


Figura: 3.9 SISTEMA DE CONTROL DE CIRCUITO CERRADO CON RETROALIMENTACION

Para controlar un proceso, un sistema de control con retroalimentación suele emplear una función de una relación prescrita entre la salida y la entrada de referencia.

Un Sistema de Circuito Cerrado actúa en base a la medición de la variable controlada para variar la salida del controlador figura 3.10 y el de control abierto lo vemos en la figura 3.11

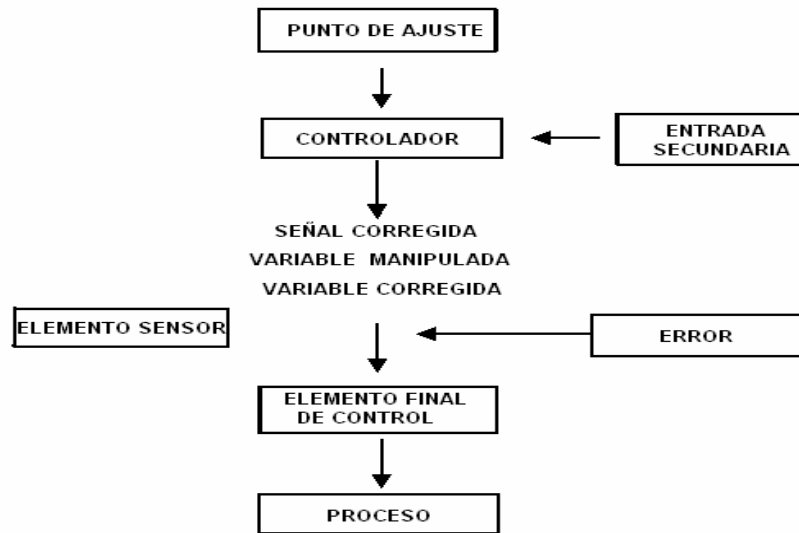


Figura: 3.10 SISTEMA DE CONTROL DE CIRCUITO CERRADO.

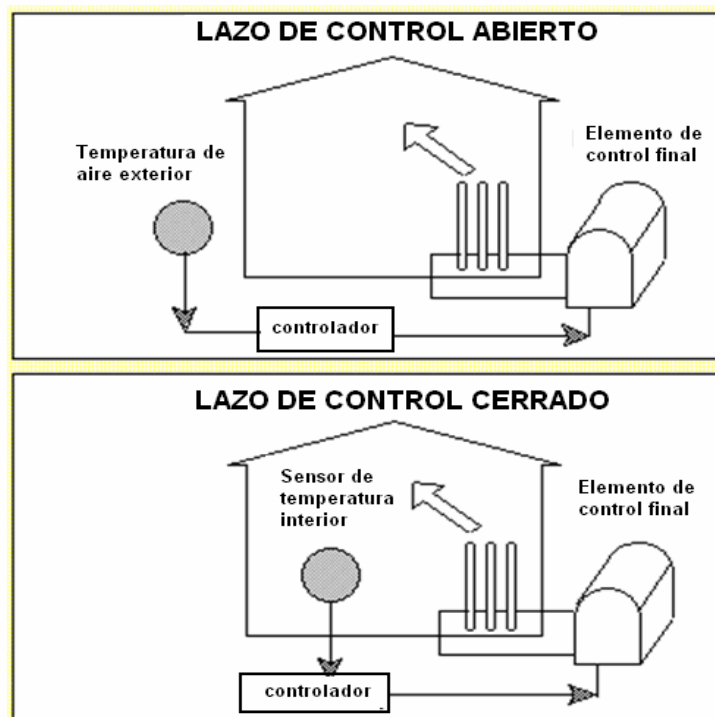


Figura: 3.11. SISTEMA CON CIRCUITO DE CONTROL ABIERTO (ARRIBA) Y CERRADO (ABAJO)

3.10. MODOS DE CONTROL

Los procesos en un sistema de control presentan dos características básicas que deben ser consideradas al automatizarlos:

- Cambios en la variable controlada debido a alteraciones en las condiciones del proceso. Se le conoce por el nombre de cambios de carga.
- Tiempo necesario para que la variable del proceso alcance un nuevo valor al ocurrir un cambio de carga.

Dependiendo de cómo se consideren estos dos parámetros habrá que utilizar una u otra acción de control. Existen cuatro acciones básicas de control que se utilizan por separado o en combinación, para proporcionar los ocho tipos más comunes de controladores. Estas acciones son:

- Control Todo o Nada.
- Control Proporcional.
- Control Derivativo.
- Control Integral.

Combinando estas acciones y teniendo en cuenta que tenemos sistemas de control discontinuos (son aquellos que generalmente tienen dos estados, o encendido o apagado) y continuos (permiten cualquier estado de control intermedio entre 0 y 100 %) surgen los tipos básicos de control que se muestran en la tabla 3.12.

Tabla: Tipos básicos de control.
Sistemas de control
Acciones de control
Discontinuos
Control Todo / Nada
Control de varias posiciones
Continuos
Control Proporcional (P)
Control Proporcional-Integral (PI)
Control Proporcional-Derivativo (PD)
Proporcional-Integral-Derivativo (PID)

Figura: 3.12 TIPOS BASICOS DE CONTROL.

3.10.1. CONTROLADOR TODO/NADA

Este tipo de controlador aporta únicamente dos posibles estados totalmente opuestos y que generalmente vienen representados por 0% y 100%. Si el error que presenta el controlador es $e(t)$, y la señal de control que proporciona es $m(t)$, el controlador todo o nada se representa por:

$$m(t) = \begin{cases} M_1 & \text{para } e(t) > 0 \\ M_2 & \text{para } e(t) < 0 \end{cases} \quad \bullet \bullet \bullet \bullet (1)$$

El uso práctico de este controlador suele exigir que el error tenga un cierto rango antes de la conmutación, para impedir que oscile con una frecuencia demasiado alta. Se define una zona neutra o banda diferencial, en la que el elemento final de control permanece en su última posición para valores de la variable comprendidos dentro de esa zona. Este control funciona correctamente si el proceso tiene una velocidad de reacción lenta, y posee un tiempo de retardo mínimo.

Control Todo / Nada con varias posiciones

Idéntico funcionamiento al todo / nada, pero en vez de presentar únicamente dos posibilidades como salida poseen. Se dará como salida un valor determinado cuando el error $e(t)$ se encuentre dentro de unos márgenes preestablecidos. Así, un controlador todo / nada de 4 posiciones sería:

$$m(t) = \begin{cases} M_1 & \text{para } e(t) > E_1 \\ M_2 & \text{para } E_1 > e(t) > E_2 \\ M_3 & \text{para } E_2 > e(t) > E_3 \\ M_4 & \text{para } e(t) < E_3 \end{cases} \quad \bullet \bullet \bullet \bullet (2)$$

3.10.2. CONTROL PROPORCIONAL

En los casos en que se requiera una acción de control más suave, puede utilizarse un controlador proporcional, que proporciona una señal de control proporcional al error. Consiste en generar una acción de control directamente proporcional al error. Actúa como un amplificador de ganancia (K_p). Su acción se representa por:

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + m_o \quad \bullet \bullet \bullet \bullet (3)$$

donde m_o es la salida del controlador cuando el error es cero. La salida de un controlador se expresa a menudo como un porcentaje del rango completo de posibles valores:

$$Salida(\%) = \frac{Salida - minimo}{Maximo - minimo} \cdot 100 \quad \bullet \bullet \bullet \bullet (4)$$

Así, el 0% representa la salida mínima del controlador, y el 100% la máxima. De igual forma, el error también se expresa como un porcentaje:

$$Error(\%) = \frac{Medida - minimo}{Maximo - minimo} \cdot 100 \quad \bullet \bullet \bullet \bullet (5)$$

Como se puede observar las características más importantes de un controlado Proporcional son:

- Ganancia K_p que es la cantidad por la que se multiplica la señal de error para obtener la señal de salida.
- Banda proporcional que es el porcentaje de variación de la variable controlada necesario para provocar que el elemento final de control recorra sus dos valores extremos. Bandas proporcionales "anchas" implican una lenta aproximación al punto de consigna y bandas relativamente estrechas implican un comportamiento inestable del controlador consecuencia de la celeridad de su respuesta frente a la inercia de los sistemas.

La acción proporcional presenta este serio inconveniente, denominado error de offset, consistente en la desviación permanente de la variable controlada respecto a su consigna al alcanzar el estado estacionario.

3.10.3. CONTROL INTEGRAL

En un controlador que emplea una acción de control integral, la señal de control se modifica a una velocidad proporcional a la señal de error. Es decir, si la señal de error es grande, la señal de control se incrementa con gran rapidez; si es pequeña, la señal de control se incrementa con lentitud. Este proceso puede representarse por:

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_I \cdot e(t) \quad \bullet \bullet \bullet \bullet (6)$$

o lo que es lo mismo:

$$m(t) = \int_0^t K_I \cdot e(t) + m_o. \quad \bullet \bullet \bullet \bullet (7)$$

Por la propia definición de integral, son sistemas con "memoria", ya que la salida en un instante, dependerá del comportamiento anterior desde 0 hasta t.

Control Proporcional Integral

Una acción de control proporcional generará siempre un desplazamiento respecto al estado estacionario, error de offset, de forma que la variable deseada no alcanzará el valor deseado y por esta razón se utiliza una acción integral, que consiste en evaluar, en el transcurso de tiempo, el área comprendida entre las curvas valor real/valor deseado, generándose una acción proporcional y de sentido contrario a la magnitud de ese área, corrigiéndose el offset. Viene dada por:

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) + m_o. \quad \bullet \bullet \bullet \bullet (8)$$

T_i se conoce como tiempo de acción integral el cual regula la ganancia del integrador, y K_p ajusta el integrador y la ganancia proporcional. El tiempo de acción integral son los segundos que deben transcurrir para repetir el cambio inicial de acción proporcional en la salida de control. Una acción integral corta implica que el controlador tratará de corregir relativamente pronto la desviación entre la consigna y el valor real. En un proceso con inercia, podría causar una oscilación inestable del sistema. Sin embargo, una acción integral relativamente larga es más segura pero implica una situación poco estable por la lentitud de la respuesta.

3.10.4. CONTROL DERIVATIVO

En el control Derivativo, el cambio en la salida del controlador desde el valor de la consigna es proporcional a la relación de cambio con respecto al tiempo, de la señal de error:

$$m(t) = K_d \cdot \frac{de(t)}{dt} + m_o \quad \bullet \bullet \bullet \bullet (9)$$

La principal característica de la acción derivativa es la de retrasar o acelerar la acción de control según convenga. Es decir, determina por anticipado a donde se dirige un proceso y, como consecuencia, aplica la corrección necesaria para modificar la variación que se está produciendo en el error. Logra anticiparse midiendo la rapidez con que se produce la variación en el error y aplicando una acción de control proporcional a dicha rapidez o velocidad de variación. Con este tipo de control, tan pronto como la señal de error cambia, puede haber una salida bastante grande del controlador puesto que es proporcional a la velocidad de cambio de la señal de error y no a su valor. Por tanto, hay una respuesta inicial rápida a las señales de error. Por contra, este tipo de controladores no responden a las señales de error en régimen permanente, ya que su derivada es cero. Por esta razón no se utilizan individualmente, sino que hay que combinarlos con alguna otra acción. El efecto de la acción de control derivativo es anticipar los cambios de error, y proporcionar una respuesta más rápida a esos cambios. La velocidad rápida de respuesta inherente al control derivativo permite al sistema salvar el tiempo de retardo en los procesos rápidos y estabilizarse en corto periodo de tiempo, especialmente cuando el error o la carga cambian constantemente.

Control Proporcional Derivativo

La acción de control derivativo proporciona una señal de control proporcional a la velocidad de cambio de la señal de error. Como se ha indicado anteriormente, puesto que el controlador no genera ninguna salida a menos que el error cambie, no se suele utilizar como acción única. Se combina con una acción Proporcional (Controlador P-D) para eliminar los errores constantes. Resulta una señal de control de tipo:

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + K_p \cdot T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} + m_o \quad \bullet \bullet \bullet \bullet (10)$$

La salida del controlador puede variar cuando hay un error cambiando constantemente. Hay un cambio inicial rápido en la salida del controlador a causa de la acción derivativa seguida de un cambio gradual debido a la acción proporcional. El principal parámetro que caracteriza a la acción derivativa es el tiempo de acción derivativa, expresada en segundos de anticipo. Representa el tiempo con que la acción derivativa se anticipa al efecto de la acción proporcional sobre el elemento final de control. Cuando se dispone de valores excesivamente estrechos de la acción derivativa, es decir, pocos segundos de anticipo en la acción de control, no hay posibilidad de una buena predicción de hacia donde se dirige el proceso y no se eliminan las oscilaciones residuales. Por el contrario, cuando se trabaja con valores excesivamente altos de la acción derivativa, puede provocarse una gran inestabilidad en el sistema. Dado que, principalmente se utiliza este parámetro para estabilizar el estado estacionario, un valor adecuado al mismo será (en segundos) del orden de

1/10 el periodo de oscilación del sistema controlado. Este controlador presenta el problema de que un cambio de carga requiere un error de desplazamiento (offset), debido a la acción proporcional.

Control Proporcional Integral Derivativo

Si se combinan las tres acciones de control aparece el controlador P-I-D que no presenta error de desplazamiento y reduce la tendencia a las oscilaciones. Se representa por la siguiente ecuación:

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) + K_p \cdot T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} + m_o \quad \bullet \bullet \bullet \bullet (11)$$

Este control es el más general, y con toda probabilidad es el tipo de controlador más utilizado, ya que permite una óptima explotación de las características de los tres tipos de control. Se crea una respuesta de salida que sigue estrechamente la señal de entrada, sin intervalos o retardos en procesos lentos y rápidos, incluyendo aquellos en los que la carga varía constantemente. Se puede considerar como un controlador proporcional, que dispone de un control integral para eliminar el error de desplazamiento y un control derivativo para reducir retardos de tiempo.

3.11. PUNTOS DE CONTROL.

Los puntos de control son conexiones de comunicaciones entre controladores de microprocesador, sensores y dispositivos a controlar, existen cuatro tipos diferentes de puntos, Entradas Digitales –DI- por sus siglas en ingles, Salidas Digitales –DO-, Entradas Análogas –AI- y Salidas Análogas estos puntos pueden ser nombrados de otra manera, por ejemplo una entrada digital puede ser llamada contacto de entrada CE sin embargo por consistencia los puntos se maneja en la literatura como entradas y salidas, analógicas y digitales.

Entradas Digitales

Al hablar de digital significa que la parte o pieza del equipo puede tener uno de dos posibles estados, encendido o apagado (ON-OFF) y la entrada se refiere a la información que se envía al controlador digital. De esta forma una entrada digital es una señal de encendido o apagado que se envía al controlador. Otros nombres para digital son contacto, dos posiciones, binario, discreto o lógico. Ejemplos de entradas digitales son los switches de ocupación-desocupación, switches de flujo o switches de presión estática o diferencial como el de la figura 3.13.

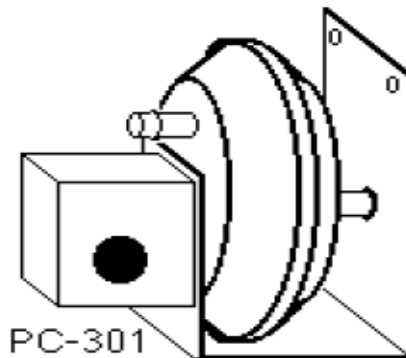


Figura: 3.13 SWITCH DE PRESION DIFERENCIAL

Salidas Digitales

Una salida digital es una señal de encendió-apagado (ON-OFF) enviada desde el controlador, esto es el opuesto a la entrada digital, ejemplos de salidas digitales son las calefacciones eléctricas, serpentines de expansión directa, ventiladores de inyección(ver figura abajo) y retorno, arranque de boiler y chillers.

Alfombras, materiales de construcción, plásticos y materiales decorativos trayendo como consecuencia enfermedades a los ocupantes del inmueble. Típicamente esta señal se activa a través de un reelevador. En la figura 3.14 se aprecia un ventilador de inyección con reelevador de arranque/paro .

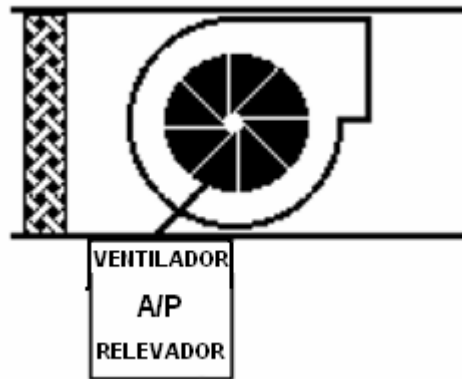


Figura: 3.14 VENTILADOR DE INYECCION CON RELEVADOR DE ARRANQUE/PARO

Entradas Análogas

Las entradas digitales son un tipo de punto de control, de forma contraria a las señales digitales las cuales pueden ser uno de dos estados encendido-apagado, las señales análogas tienen un rango de posiciones donde fijar el equipo o dispositivo, al ser una entrada estamos hablando de señales que se envían hacia al controlador, otros nombres que se emplean para las entradas analógicas son proporcional, numérica, o modulante. Ejemplos de estas señales son la temperatura exterior de cuarto, temperatura del agua, humedad de zona, presión estática etcétera. En la figura 3.15 vemos el ejemplo de un sensor de temperatura.

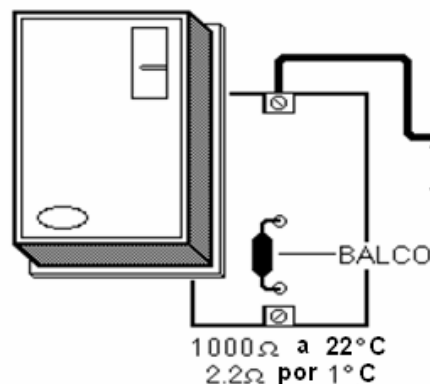


Figura: 3.15 SENSOR DE TEMPERATURA DE ESPACIO

Salidas Análogas

Una salida análoga es una variación o modulación que se envía desde el controlador al dispositivo ejemplos de ellas son válvulas de agua helada, compuertas de aire exterior, variadores de frecuencia y actuadores para cajas VAV. En la siguiente gráfica vemos un ejemplo de salida análoga, figura 3.16

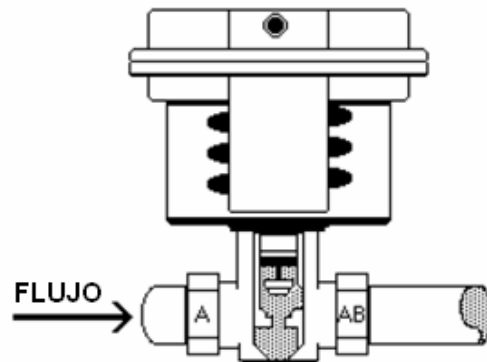


Figura: 3.16 VALVULA PARA FLUJO DE AGUA CON ACTUADOR MODULANTE

En el caso de los puntos de control Análogos estos tienen una señal de control que varía en el caso de voltaje de 2 a 10VCD y para la corriente de 4 a 20mA, para el caso de los sensores de temperatura estos usan RTD's o termistores con valores de resistencia de 1000, 5000 o 10,000 Ohms y con diferentes metales como materiales resistivos.

CAPITULO IV

4. SISTEMAS DE CONTROL PARA CAJAS DE VOLUMEN DE AIRE VARIABLE

4.1 INTRODUCCION

Las cajas de volumen de aire variable han jugado un papel preponderante en la optimización, eficientización e inteligencia dentro de un sistema de Control Directo Digital, con la integración de estas en el sistema de control HVAC se han logrado reducir los costos de energía eléctrica, al trabajar en comunicación con el variador de la unidad manejadora, dimensionando las zonas de acuerdo a sus requisitos reales de presión y temperatura, adaptándose a las condiciones de suministro en cada área brindando confort a sus ocupantes y ahorros de energía al optimizar la operación de la fuente de suministro con sus respectivas zonas, este capítulo abordará los diferentes métodos de control de estos dispositivos; para después conocer lo referente a los diferentes protocolos de comunicación y entender el por que la interoperabilidad es relevante desde el punto de vista de integración entre diferentes fabricantes como el de la arquitectura de aplicación en función del nivel de comunicación que se pretenda lograr.

4.2 METODO DE CONTROL

Las cajas pueden controlarse básicamente en dos esquemas uno donde sean independientes y solo respondan a su sensor de temperatura y el otro en el cual además de responder a su sensor de temperatura se comuniquen entre si con otras unidades y su respectiva unidad manejadora, a continuación veremos las diferencias.

4.2.1 CONTROL INDEPENDIENTE (Stand-Alone)

Una caja de Volumen de Aire Variable (VAV) se dice que opera de manera independiente (en modo stand-alone) cuando solo ella es responsable de su operación y no tiene ninguna injerencia de otros, esto es una unidad autónoma sin importar el resto de los elementos del entorno. Figura 4.1.

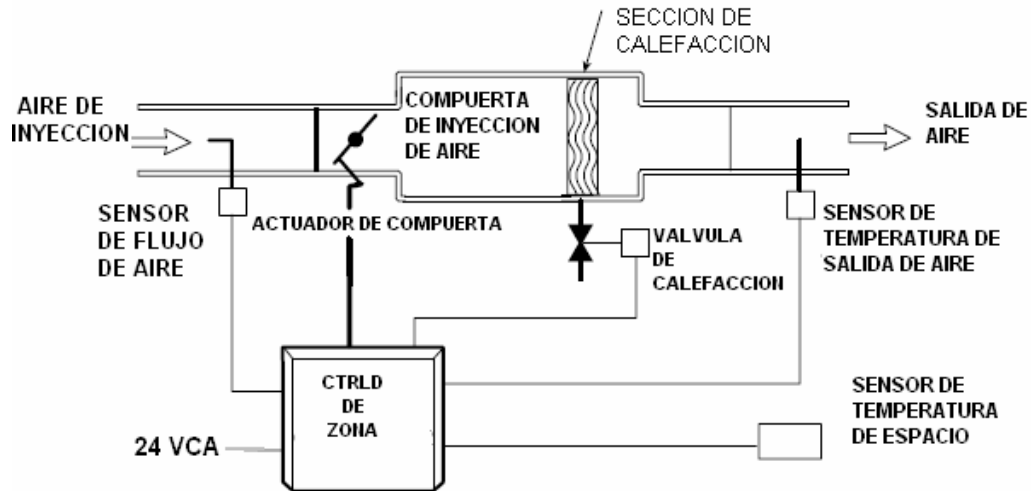


Figura: 4.1 CONTROL INDEPENDIENTE (Stand-Alone)

En la figura 4.1 podemos apreciar que la unidad solo cuenta con un actuador que responde únicamente a la señal enviada por su sensor de temperatura.

4.2.2 CONTROL EN RED O INTEGRADO

Una caja VAV opera en red o integrado cuando la señal de su sensor de temperatura y la posición del damper se puede compartir con otros dispositivos en la misma red de comunicación esto con objeto de optimizar la operación del sistema, manejadora- unidades; para ello típicamente las cajas VAV contarán con un controlador que se encarga de administrar las señales en la unidad y la comunicación con el resto de ellas. Figura 4.2.

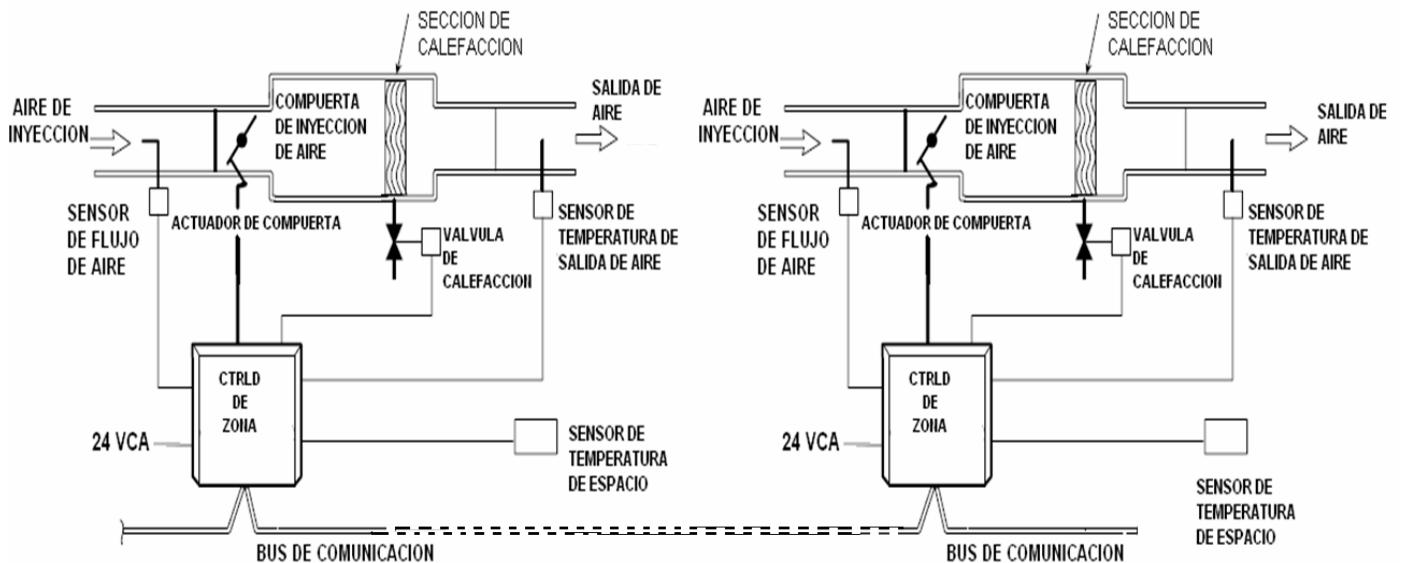


Figura: 4.2 CONTROL EN RED O INTEGRADO.

En la figura 4.2 observamos como sería el esquema típico de una unidad VAV en red o integrada el objetivo es hacer un sistema de comunicación integral que permita adaptarse mejor a las diferentes condiciones de operación así como compartir información al administrador del sistema.

4.3 TIPOS DE CONTROL PARA CAJAS VAV

Las cajas o terminales de Volumen de Aire Variable adicionalmente pueden ser controladas de tres formas diferentes y esto se encuentra ligado al tipo de señal que manejan los actuadores, en un inicio no se contaban con todas estas alternativas sino que estas son resultado hoy en día del avance de la tecnología y la aplicación específica que se quiera, aunque ninguna de ellas esta obsoleta es de mencionar que la forma digital lleva la delantera sobre el resto.

4.3.1 NEUMATICO

Este sistema de control viene del uso en la industria de los controles neumáticos que buscando utilizar la infraestructura de sus plantas transmitieron su red de aire al sistema de control VAV y se basa en utilizar un actuador activado por válvulas de presión las cuales responden a la señal de un sensor eléctrico de temperatura, este sistema se utilizó en los 40's y era muy económico si ya se contaba con los motores compresores, en la actualidad existen edificios que operan con este sistema. Figura 4.3



Figura: 4.3 ACTUADOR DE COMPUERTA NEUMATICO.

4.3.1.1 REQUERIMIENTOS PARA UN SISTEMA DE CONTROL NEUMATICO

Un sistema típico de control neumático requiere lo siguiente:

- 1) Un compresor de aire para las señales de control y alimentación eléctrica para los actuadores.
- 2) Una vía para secar el aire comprimido. La humedad es el enemigo número uno de un sistema de control neumático ya que daña los dispositivos en sus puertos de conexión.
- 3) Hay una vasta red de tubería para distribuir el aire comprimido a todos los dispositivos a controlar dentro de un edificio. Típicamente hay dos juegos de tubería neumática; la primera es la línea principal regularmente de 1/2" de cobre y el segundo juego de tuberías son los ramales los cuales son tubos de 1/8" retardantes al fuego.
- 4) Sensores para temperatura, posición y estado de operación.
- 5) Actuadores para abrir y cerrar las compuertas.
- 6) Dispositivos lógicos neumáticos como controladores-receptores, comparadores, acumuladores y dispositivos convertidores como P-E de señal neumática a eléctrica y viceversa.

De tal forma que los sistemas de control neumático están compuestos por varillas mecánicas, resortes y palancas de ajuste los cuales requieren calibración y mantenimiento frecuente. Una de las ventajas es que pueden operar en condiciones interiores o exteriores y los actuadores son potentes abren y cierran con rapidez, económicos y sumamente confiables. Sin embargo este sistema de control no están sensitivo como un sistema electrónico y debido a la complejidad que implica tener una red de aire comprimido a lo largo de un edificio esta opción no es de uso actual en los sistemas VAV.

4.3.2 ANALOGICO O ELECTRICO

El control analógico es un control de tipo proporcional esto es que se varia en una proporción a la lectura de la variable en este caso el sensor de temperatura de espacio, de esta manera la caja VAV abre o cierra en función del punto de ajuste para mantener la temperatura deseada en la zona. La señal es totalmente eléctrica y no hay mayor comunicación, fue uno de los primeros controles en implementarse. Figura 4.4.



Figura: 4.4 ACTUADOR DE COMPUERTA ELECTRICO.

4.3.2.1 REQUERIMIENTOS PARA UN SISTEMA DE CONTROL ANALOGICO O ELECTRICO

Un sistema de control eléctrico requiere lo siguiente:

- 1) Una secuencia de control de operación fija o predeterminada.
- 2) Todas las condiciones que son medidas son vistas como un resultado entre dos posibles valores aceptable o no aceptable sin términos medios.
- 3) Los actuadores de control para las compuertas son de dos posiciones o de punto flotante para proveer modulación. El arranque y paro de los equipos es realizado con relevadores de control de voltaje que se encargan de conmutar los circuitos arrancadores de potencia o los motores arrancadores de los dispositivos.
- 4) La lógica de control es cableada dentro del circuito eléctrico de control y se representa en un diagrama de escalera. Estos son físicamente cableados desde el equipo hasta el dispositivo a controlar.
- 5) La fuente típica de alimentación para un sistema de control eléctrico es el voltaje de línea suministrado al equipo, si este voltaje fuera muy alto entonces se emplean transformadores de reducción para llevarlo a 24 o 120 VAC.

- 6) El operador, el técnico o el propietario del sistema realiza el monitoreo de este a través de luces indicadoras, manómetros y sistemas de alarmas. Con lo cual se restringe las posibilidades de modificar las variables del sistema de control eléctrico.

Los sistemas de control eléctrico siguen prevaleciendo en la industria debido a su simpleza y seguridad además son muy fáciles de instalar y de solucionar cuando presentan las fallas. El costo de implementación en cajas VAV es de los más bajos.

4.3.3 DIGITAL

Este sistema es el resultado de la era del circuito integrado ya que además del actuador y el sensor de temperatura en la caja VAV se agrega un controlador DDC –Control Directo Digital- el cual permite conectar mas señales como es la temperatura de inyección, sensores de presión, sensores de CO2 (bióxido de carbono) entre otros lo cual permite de entrada un mejor control –mas preciso- ya que utiliza control PID Proporcional Integral y Derivativo; por otra parte integra estas señales en un protocolo de comunicación para transmitir y recibir comandos que permiten hacer trabajar de manera sincronizada y adecuada en una red de comunicación un conjunto de cajas VAV con su respectiva unidad manejadora. Es el más empleado en la actualidad y sus costos son relativamente bajos ya que los chips de sus controladores son de producción masiva. Figura 4.5.



Figura: 4.5 ACTUADOR DE COMPUERTA DIGITAL.

4.3.3.1 REQUERIMIENTOS PARA UN SISTEMA DE CONTROL DIGITAL

Un sistema típico de control digital requiere lo siguiente:

- 1) Un medio (bus) de comunicación o una red alambrada para conectar todas las cajas VAV ya sea directa o indirectamente o una tras otra.
- 2) Sensores electrónicos para medir entre otros la temperatura, presión, humedad, CO2 etcétera.
- 3) Actuadores electrónicos para el control de las cajas VAV los cuales pueden ser de puntos flotantes o modulantes y manejar una señal de control de 4 a 20mA o 2 a 10VDC hacia el controlador.
- 4) La lógica de control para las secuencias de operación reside en un controlador por microprocesador el cual puede estar preprogramado para una aplicación específica o puede ser programado en campo para requerimientos específicos de operación.

- 5) La fuente de alimentación convencional de este sistema es 24VAC y la mayoría de los controladores requieren un voltaje mucho menor para operar el cual se obtiene por reducción y rectificación a DC internamente en cada controlador
- 6) El operador, el técnico o el propietario del sistema realiza el monitoreo de este a través de una interfase de usuario. Esta interfase puede ser una PC o una terminal con display portátil o montada en el equipo con software específicamente diseñado por el fabricante que permitirá monitorear y modificar el sistema de control digital.

Los sistemas de control digital operan en condiciones ambientales controladas, típicamente en interiores pero pueden diseñarse para operación en exteriores. Los actuadores electrónicos no son tan potentes como los neumáticos ya que tienen límites en cuanto a la rapidez con que pueden abrir o cerrar y estos no operan durante un corte de energía sino existe un sistema de respaldo de energía, sin embargo los sensores son extremadamente sensitivos y precisos. La información es compartida entre los controladores de la caja VAV o bien entre el controlador y la PC.

4.4. SISTEMA DE ADMINISTRACION DE ENERGIA (EMS)

Energy Management System por sus siglas en ingles es un sistema de control de administración de energía y es aquel que se implementa para tener un control del consumo y la energía en los equipos de un edificio con el fin de hacer la operación más eficiente sin descuidar el ambiente confortable que debe mantener. Estos sistemas también se conocen como Sistemas de Automatización de Edificios – BAS por sus siglas en ingles- e incluyen entre otras características.

- Reloj con funciones, lo cual permite programar múltiples horarios de operación incluyendo días festivos, periodos de vacaciones, horario de verano entre otros.
- Rutinas de arranque y reposición que automáticamente se reestablecen basadas en la operación histórica del sistema y le permiten identificar cuanto tiempo le toma a este alcanzar las condiciones de operación de los puntos de ajuste (set-points), esto se conoce como un arranque y paro óptimo adaptativo.
- Rutinas de optimización las cuales permiten a los equipos descargarse operar a media carga o apagarse durante periodos de poco uso o condiciones climatológicas estables sin comprometer el confort de los ocupantes.
- Coordinación de la distribución del volumen de aire y la temperatura para la máxima eficiencia energética.
- Programas de demanda eléctrica que buscan disminuir los cargos durante periodos de demanda pico reduciendo la carga eléctrica de consumo prescindiendo de ciertas cargas no indispensables durante esos periodos.
- Reestablecimiento automático del sistema después de un interrupción de energía.
- Enfriamiento o calefacción en periodos previos a la ocupación.
- Reportes de tendencias que permiten revisar las condiciones de operación del equipo en periodos de tiempo
- Reportes de alarmas y alertas los cuales muestran condiciones de operación fuera de lo normal y pueden generar mensajes vía interfases o telefónica para notificar a los responsables, estos reportes pueden ser asignados con diferentes niveles de alarma.
- Reportes operacionales y de horas de operación generados con el fin de tener una bitácora de mantenimiento y servicio.
- Acceso al sistema operacional con diferentes niveles de seguridad lo cual permite garantizar acceso solo al personal autorizado.
- Reportes de consumo lo cual muestra el uso de la energía en los diferentes equipos del sistema de forma que permite identificar áreas de oportunidad en el empleo de los equipos o aplicaciones.
- Programas de facturación por ocupación los cuales permiten monitorear los patrones de uso en un establecimiento de múltiples usuarios permitiendo establecer los costos de operación del sistema de manera equitativa.
- Generación de gráficos computarizados amigables que permiten ver mucha información en tiempo real en una o varias imágenes.

4.4.1. INTERFACES DE OPERADOR

Un EMS requiere un medio para mostrar los parámetros en él residentes para ser interpretados por los humanos, una interfase de operador es un elemento crítico en la arquitectura de un sistema, ya que a través de ellas se visualiza la información que se intercambia entre los diferentes dispositivos y controladores en la red, son necesarias para:

- Ver datos
- Programar el sistema
- Ejercer control manual
- Almacenar datos por periodos prolongados
- Proveer una interfase gráfica dinámica

Existen cinco tipos básicos de interfases de operador que incluyen.

- Computadoras de escritorio que actúan como estaciones de trabajo de operador
- Laptop's que operan como estaciones de trabajo portátiles de operador
- Teclados o pantallas con display de cristal líquido
- Consoletas de mano/ PDA's o herramientas de servicio
- Termostatos inteligentes

Las computadoras de escritorio son estaciones de trabajo centralizadas para el operador donde su principal función es programar, visualizar gráficos del sistema, recolección permanente de datos y un sistema de alarmas y alertas con filtrado de mensajes.

Las laptop's pueden conectarse a la red de control a través de una interfase que puede ser independiente o esta alojada dentro de otro dispositivo, la laptop se conecta a un nivel específico de manera que no necesariamente tiene la misma capacidad de una computadora de escritorio conectada en el nivel más alto de la red.

Los teclados o pantallas con display de cristal líquido están limitados a monitorear y controlar puntos. Teniendo una limitada capacidad para programación como el cambia los set-points o los horarios de operación.

Las consoletas de mano/ PDA's o herramientas de servicio son dispositivos propietarios esto es que solo pertenecen al fabricante y se conectan en forma directa a los controladores primarios o secundarios. Generalmente permiten monitorear y controlar puntos, acceso a la configuración del controlador como es el direccionamiento y comunicaciones, así como al ajuste de calibración de las entradas y salidas.

Los termostatos inteligentes son realmente sensores con capacidades adicionales, se conectan a los controladores secundarios y cuentan con un modo de servicio que les permite monitoreo, control y calibración de puntos, cuentan con un modo de usuario en el cual se puede mostrar los puntos monitoreados así como el ajuste de set-point y los modos de sobremando.

4.4.2. ARQUITECTURA

La arquitectura del sistema es el término empleado para describir la estructura de la red de área local (LAN por sus siglas en ingles). Es el mapa del sistema donde se muestra como se conectan las interfases de operador y como se comunican en el sistema dentro de un edificio o instalación.

Una red o LAN es el medio físico que conecta múltiples dispositivos inteligentes y les permite comunicarse entre ellos, compartir información, desplegarla e imprimirla, así como almacenarla. La tarea más básica de la arquitectura del sistema es conectar los controladores digitales –DDC- para que la información sea compartida entre ellos.

4.4.3. COMUNICACIÓN RED DE AREA LOCAL (LAN)

Las comunicaciones entre los dispositivos de una red se caracterizan por la forma en que se comunican así tenemos el punto a punto (peer to peer) y el muestro o registro (polling). En una red punto a punto cada dispositivo puede compartir la información con cualquier otro elemento en la red de área local sin tener que pasar a través de un administrador de comunicaciones. En la figura 4.6 vemos un esquema de red de área local (LAN).

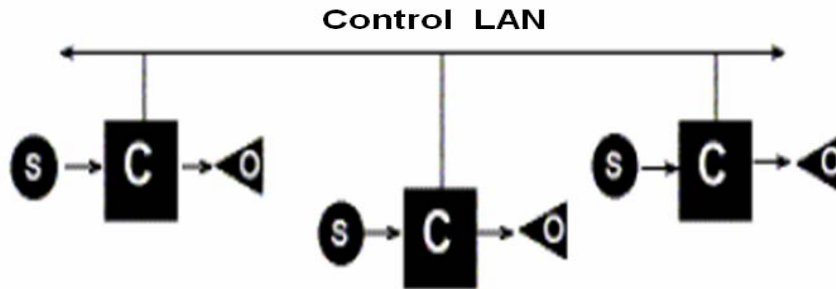


Figura: 4.6 ESQUEMA DE RED DE AREA LOCAL (LAN)

Los controles en una LAN punto a punto pueden ser de tipo primario, secundario o una mezcla de ambos esto depende de cada fabricante. En una LAN de muestreo o registro los controladores no pasan la información directamente entre cada uno, en lugar de ello el flujo de datos va de un controlador a una interfase y de la interfase viaja a otro controlador. En la figura 4.7 veremos una arquitectura de red polling.

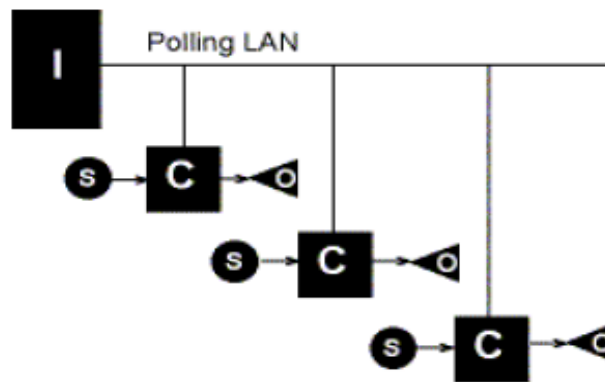


Figura: 4.7 ARQUITECTURA DE RED POLLING

Esta interfase es un dispositivo que administra la comunicación entre los controladores de la red local de muestreo registro y los niveles más altos en la arquitectura del sistema, también complementa la capacidad de los controladores proveyendo funciones de reloj, almacenamiento para tendencia de datos, alarmas, mensajes y soporte de software de mayor nivel. Muchos sistemas combinan las comunicaciones punto a punto con las de muestreo registro en una red local. En la figura 4.8 podemos ver que la interfase se comunica en un nivel punto a punto en el nivel más alto y tiene dispositivos punto a punto en la red local. Los dispositivos en la red de registro pueden recibir datos desde los dispositivos punto a punto pero los datos deben pasar a través de la interfase.

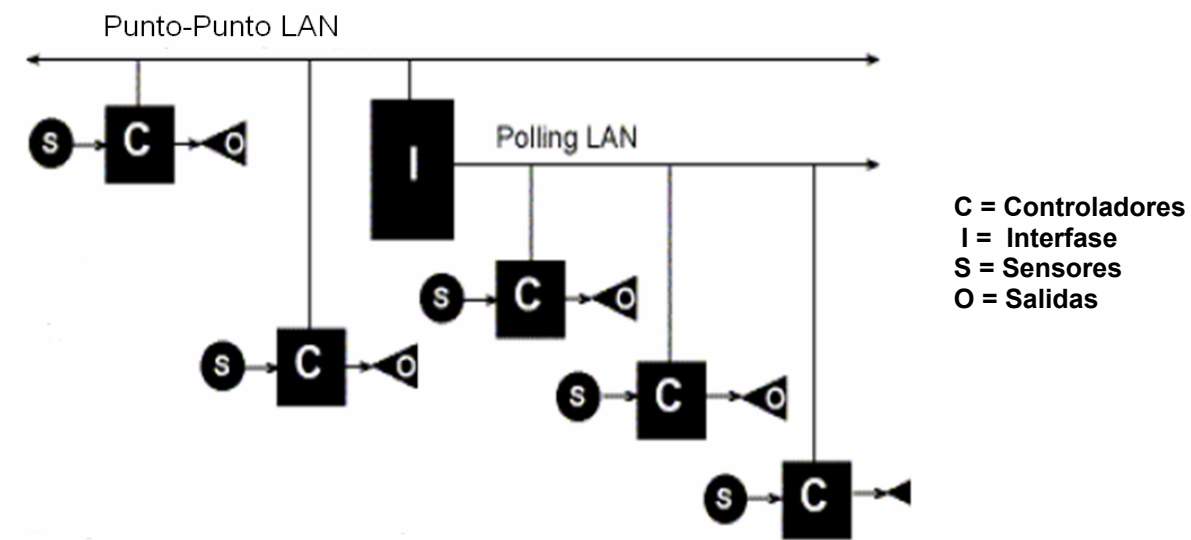


Figura: 4.8 ARQUITECTURA DE RED PUNTO A PUNTO

4.4.4. INTERFACE DE RED LOCAL Y AMPLIA

Esta interfase de red o PC provee un camino entre dos dispositivos que no emplean el mismo protocolo de comunicación en ella se encuentran las PC's, módems e impresoras. La figura 4.9 muestra una interfase de comunicación en red.

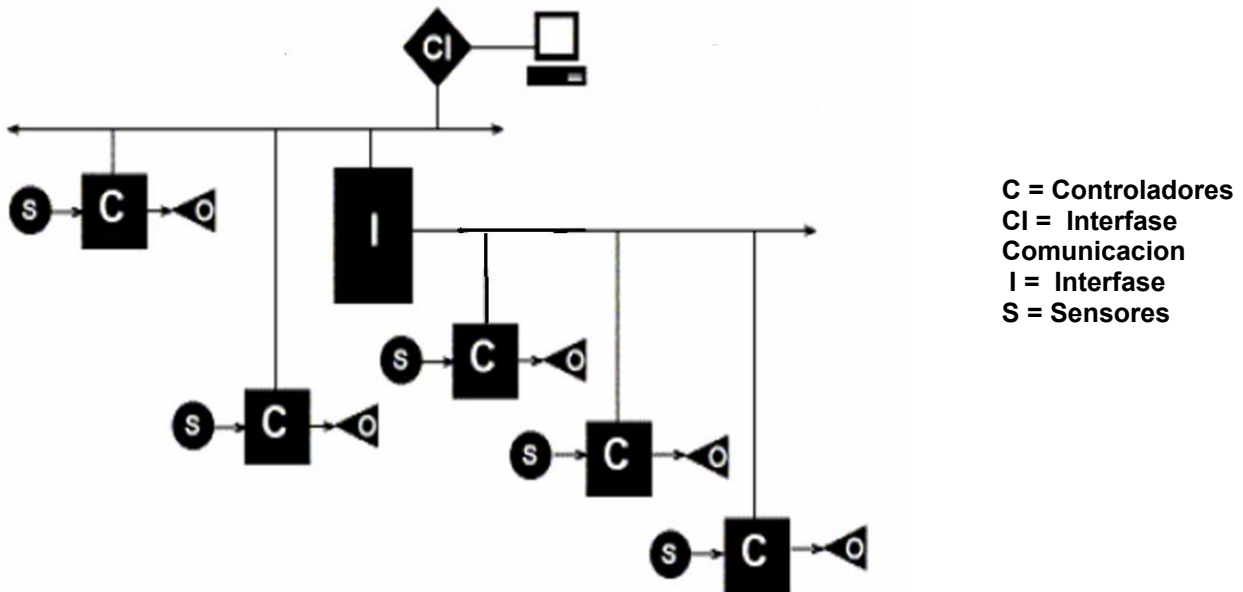


Figura: 4.9 PC INTERFASE DE RED

Puede operar en forma independiente o puede estar integrada dentro de otro dispositivo como lo muestra la interfase de red con PC o impresora de la figura 4.10.

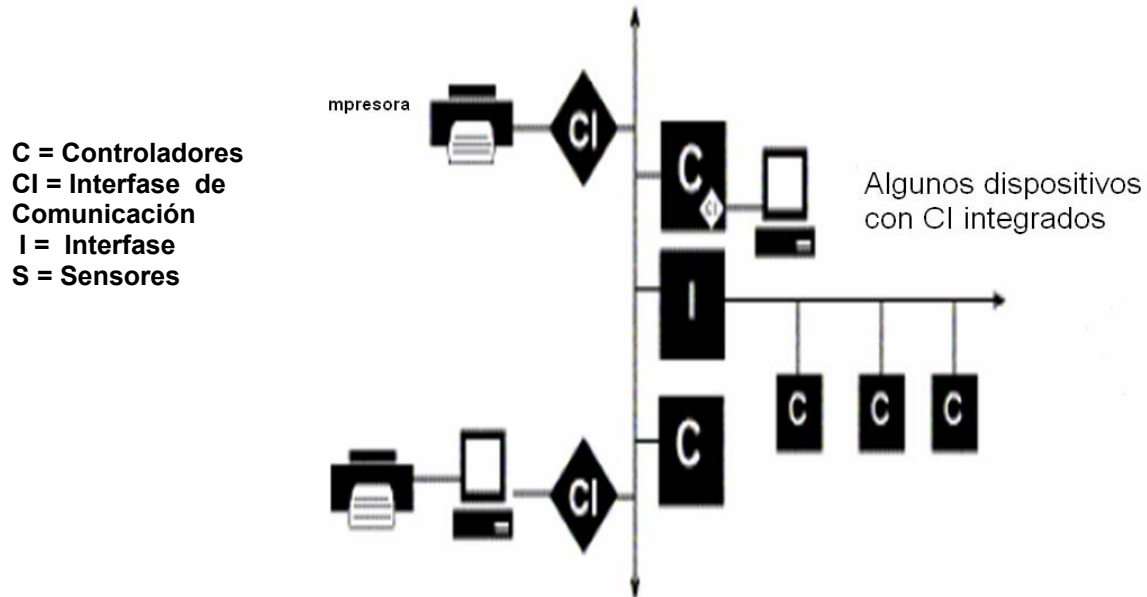


Figura: 4.10 INTERFASE DE RED CON PC O IMPRESORA

Cada interfase de comunicaciones mostrada en la figura puede:

- Traducir el protocolo
- Proveer un buffer de comunicación
- Proveer memoria de almacenamiento temporal para la información que esta siendo pasada entre la red y la PC externa, módem o impresora.

Arquitectura de sistemas mayores.

Cuando los sistemas se vuelven más grandes que la capacidad de una sola sub-red se adiciona un nivel mayor a la arquitectura para permitir el uso de múltiples sub-redes. Figura 4.11

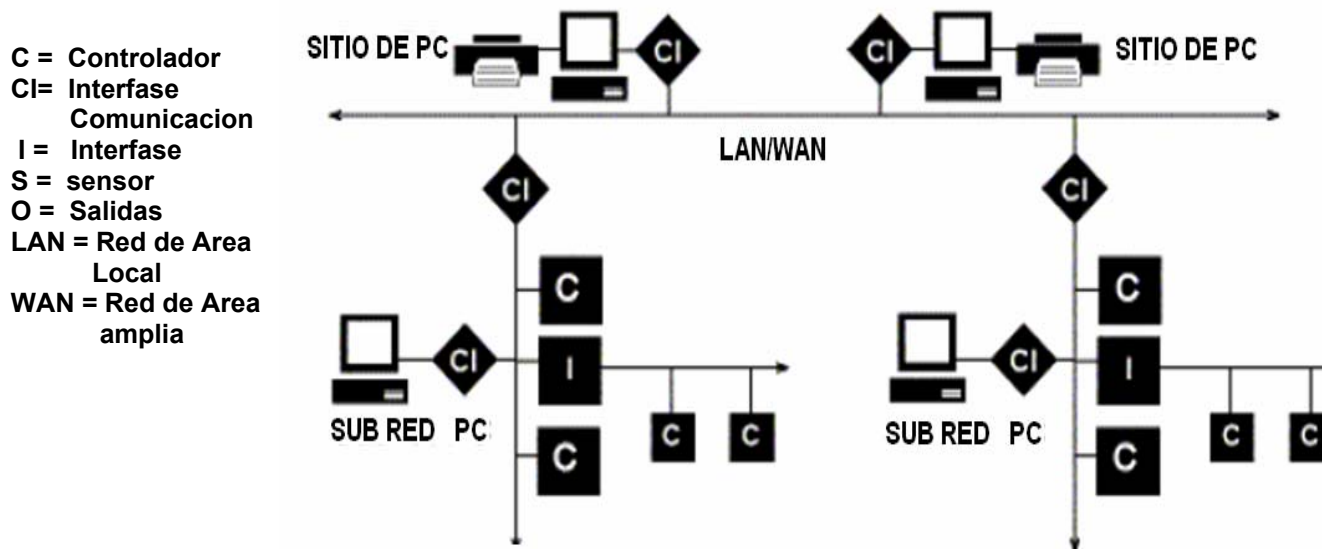


Figura: 4.11 SISTEMA AREA LOCAL Y AREA AMPLIA

En la figura podemos apreciar que la red local (LAN) se vuelve una red de área amplia o extendida (WAN por sus siglas en inglés) y esta es utilizada para conectar múltiples sub-redes y sitios de computadoras, lo cual permite compartir información entre los diferentes dispositivos de las sub-redes. Existen limitaciones en el número de computadoras en el sitio (site). El sitio LAN/WAN puede incluir ruteadores si se emplea TCP/IP de otra forma el protocolo puede ser totalmente propietario. Si se emplea TCP/IP en la red LAN/WAN entonces el sistema de administración de energía puede ser el sistema central de la unidad o entre múltiples unidades de negocio.

Las computadoras del site LAN/WAN pueden enviar y recibir información de todo el sistema y la información puede ser recibida por cada una de las computadoras de sitio, pero no puede ser compartida subsecuentemente de una computadora a otra enviada, las computadoras sub-redes serán solo capaces de ver su propia red. Las LANs del site permitirán a múltiples computadoras comunicarse entre ellas utilizando software comercial para enviar mensajes, alarmas, alertas y otros datos que pueden ser re-ruteados a otras computadoras del site de la red de área local. Información almacenada en otras computadoras puede ser accesada remotamente esto incluye gráficos, programación, datos operacionales y tendencias almacenadas.

Combinaciones de componentes.

Algunos proveedores combinan múltiples funciones en un solo dispositivo en la figura 4.12 vemos la arquitectura de una interfase de comunicación integrada en el controlador primario. Una red de área local o sub-red sistema punto a punto es conectada directamente al dispositivo.

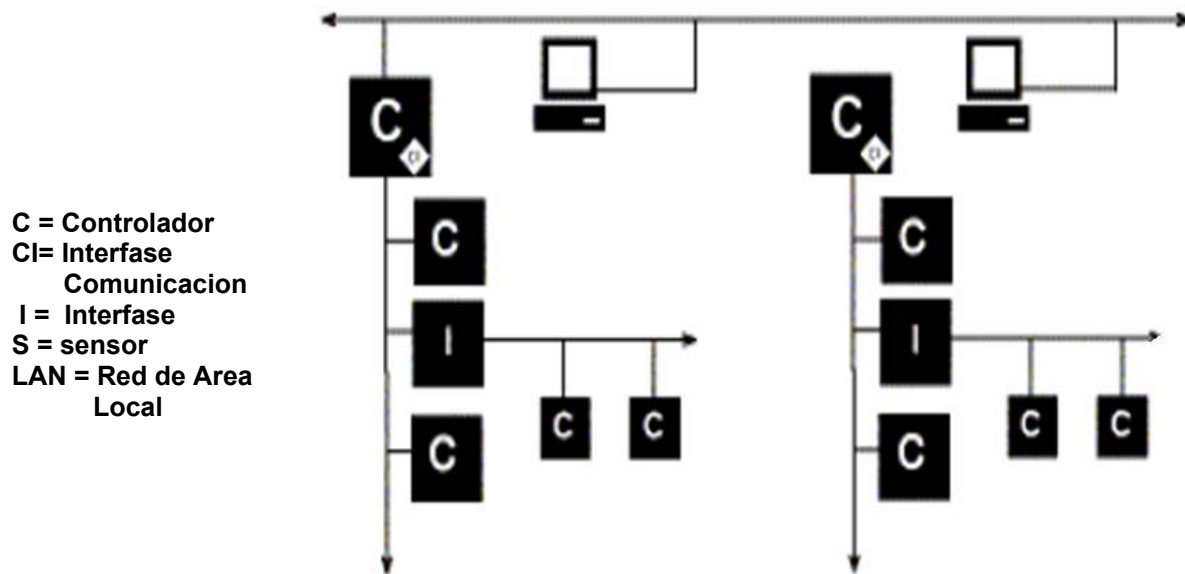


Figura: 4.12 COMBINACION DE COMPONENTES

El componente clave es un sistema consistente de una interfase de comunicación, un controlador primario y una interfase en la red de registro secundaria. La adición de un site de área local permite al sistema ganar dimensiones en términos del número de dispositivos a los cuales esta sirviendo, pero en algunas aplicaciones el mayor desafío es la localización de los dispositivos más que el número de dispositivos a conectar, en estos casos la comunicación basada en módem es utilizada para superar la geografía del sistema.

4.4.5. ARQUITECTURA AUTO RESPUESTA/AUTO MARCADO

La arquitectura del sistema de auto respuesta/auto marcado utiliza una interfase especial de comunicación la cual agrega a la arquitectura estándar un módem y líneas telefónicas. Estas interfases de comunicación son hechas con módems externos o fabricados para tal fin.

Las configuraciones de auto respuesta/auto marcado son utilizadas para proveer monitoreo y acceso remoto a una instalación o edificio, son empleadas donde los métodos tradicionales de cableado son imprácticos y donde se desee tener una central de monitoreo o acceso a controladores remoto. Con esta arquitectura la interfase central de comunicaciones puede llamar a sitios individuales o viceversa. La información y los datos pueden pasar de o hasta la capa superior a la interfase central de comunicaciones. Figura 4.13.

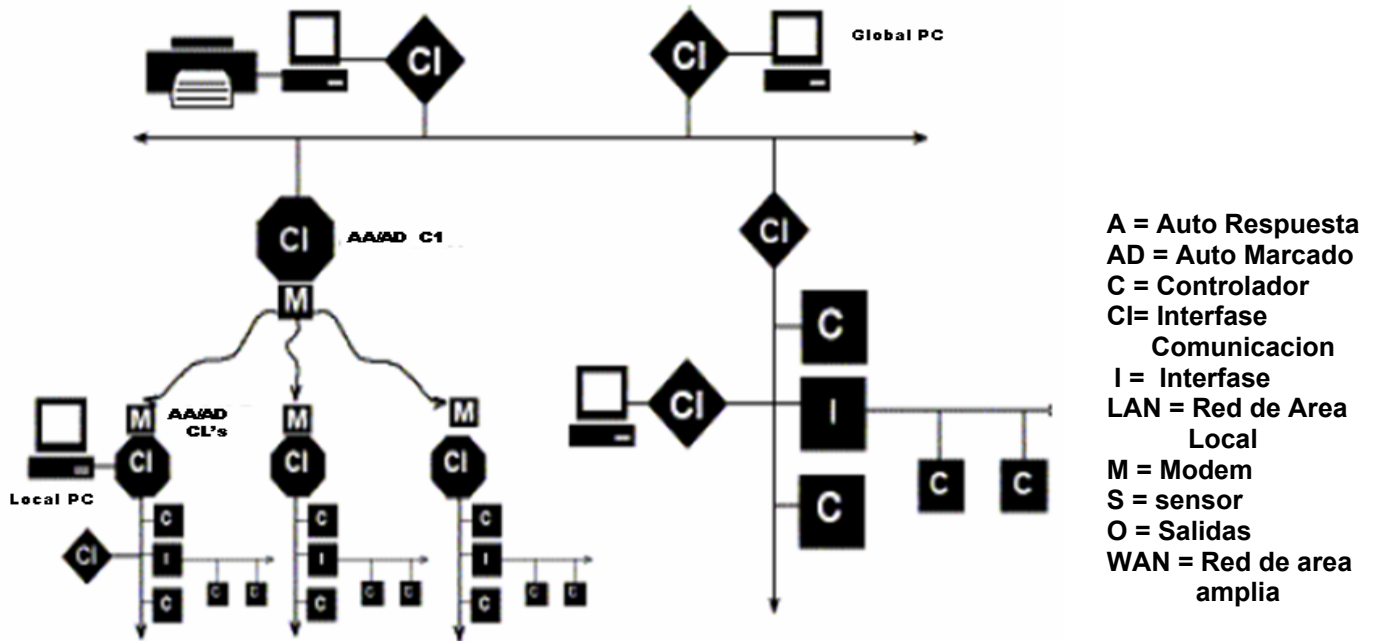


Figura: 4.13 ESQUEMA DE AUTORESPUESTA/AUTOMARCADO

Con esta arquitectura, múltiples instalaciones que requieren ser monitoreadas y controladas pueden ser centralizadas. Múltiples redes de área local pueden utilizarse para mantener grupos de dispositivos o servicios o bien para separar controladores en grupos definidos. Cuando el sitio primario no esta disponible, entonces se habilita una configuración conocida como soporte LAN de múltiple discado con lo cual los sitios locales tienen la habilidad de llamar a una interfase de comunicación alterna. Figura 4.14.

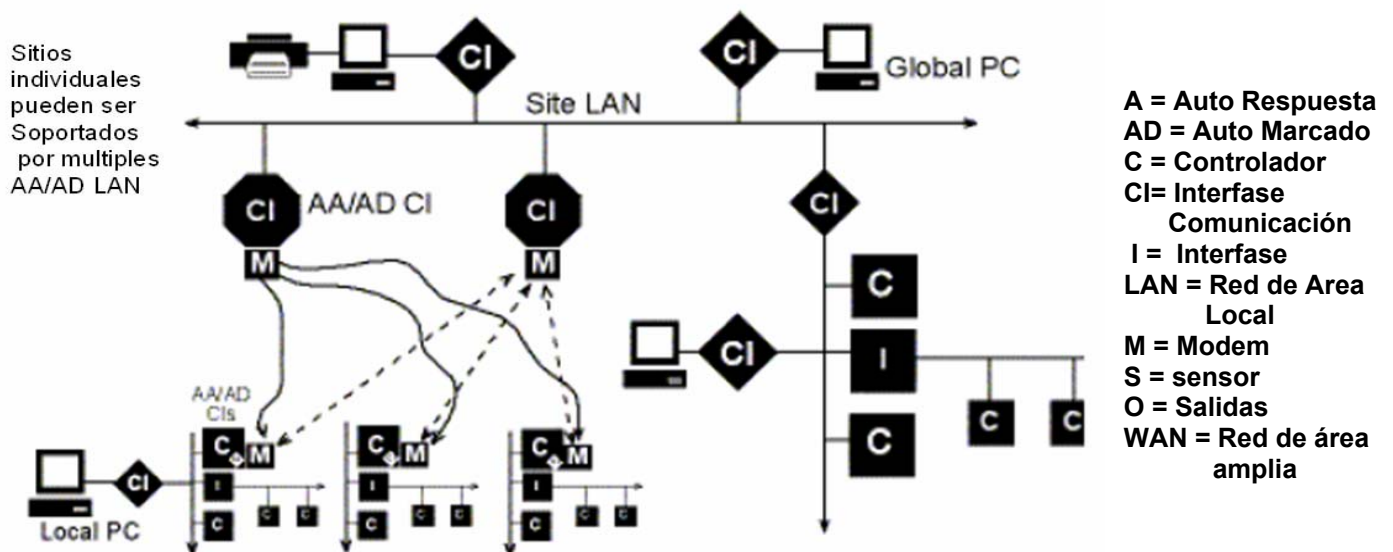


Figura: 4.14 ESQUEMA CON MULTIPLES INSTALACIONES

La arquitectura del sistema de marcado de una vía.

Se utiliza para habilitar el sistema al propietario para tener acceso a su sistema desde cualquier comunicación remota, como su casa, o bien por las compañías de servicio para resolver situaciones o configurar desde locaciones remotas pudiendo acceder al site de la red local o a una sub-red, en este caso se requieren de dos módems uno localizado en la computadora remota y el otro en el site del sistema, en la computadora remota debe estar instalado el sistema operativo para el acceso y manipuleo de variables de control.

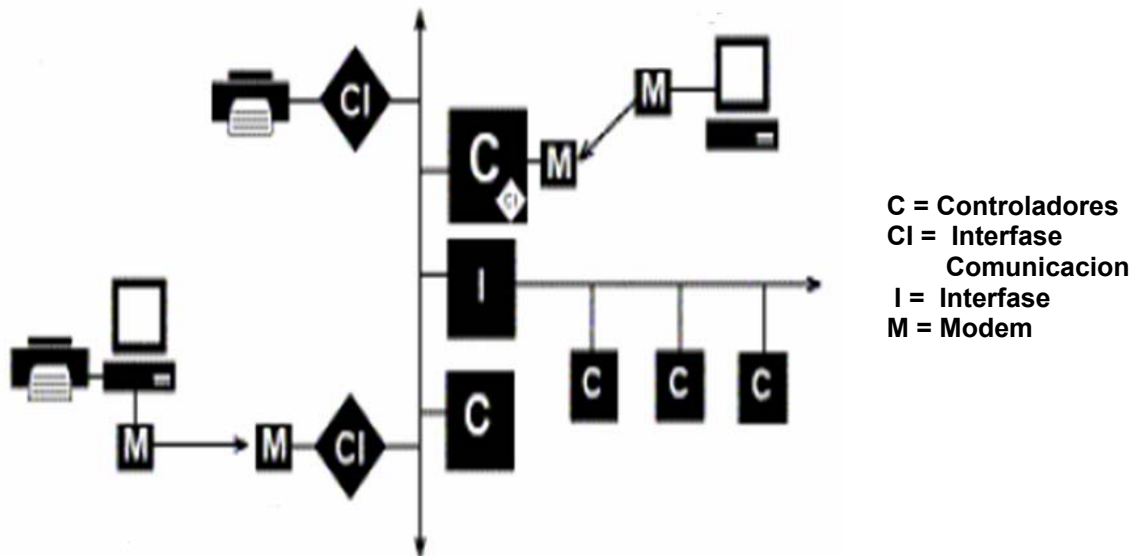


Figura 4.15 ARQUITECTURA DE MARCADO DE UNA VIA

La comunicación entre dos diferentes dispositivos controlando equipos requiere un protocolo común, una velocidad de comunicación común y un formato conocido de datos. Los fabricantes diseñan y construyen sus sistemas en torno a estas variables así que la comunicación entre dispositivos del mismo fabricante es meramente una rutina. Figura 4.15

4.4.6. INTERFACES DE TERCEROS (Third Party Interfaces)

En muchas instalaciones es deseable para el propietario de un edificio que el sistema de control digital se pueda comunicar con otros sistemas de control digital de otros fabricantes, por ejemplo el sistema de aire acondicionado se pueda hablar con el de iluminación de manera que se puedan controlar todas las partes de un equipo desde un solo sistema. Para lograrlo se requiere de una interfase o puerto de acceso –gateway- esto debido a que cada fabricante usa su propio protocolo de comunicación, velocidades de comunicación y formato de datos; a esto se le conoce como protocolo propietario.

La interfase o gateway traduce o interpreta el protocolo entre dos sistemas propietarios. Para la correcta operación se requiere que cada fabricante tenga un gateway para integrarse con el otro fabricante y de realizar

un trabajo coordinado en sitio entre ellos para garantizar la correcta operación, adicionalmente que los costos de esta integración son sumamente altos debido a que cada fabricante permite al otro entrar a su front-end y eso cuesta, por lo menos el status de ser intervenido por otra firma competidora, de tal forma que cada fabricante busca convencer al usuario final que es mejor usar solo su sistema de comunicación propietario. Figura 4.16.

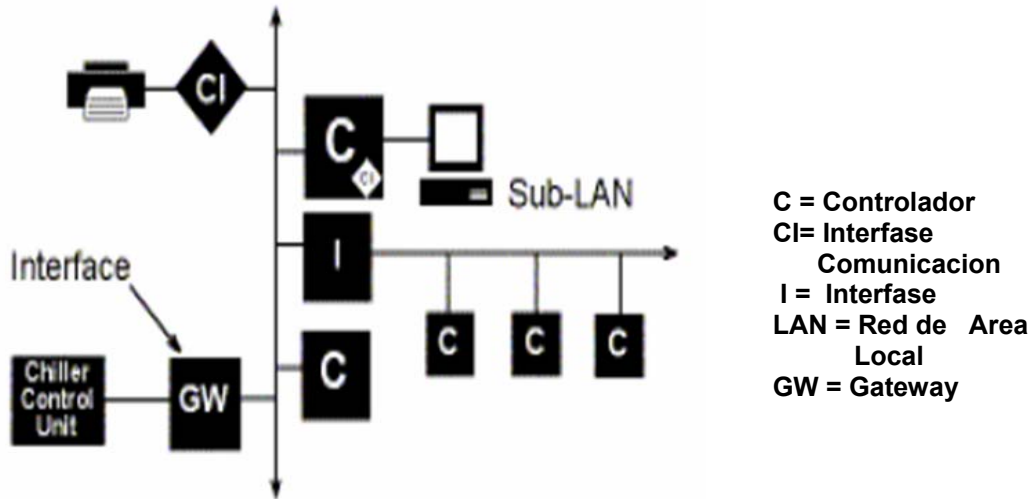


Figura 4.16 ARQUITECTURA DE INTERFACE DE TERCEROS

4.5 PROTOCOLOS DE COMUNICACION

A medida que los controladores digitales ganaban terreno cada fabricante de cajas VAV, controles y Aire Acondicionado desarrollo su propio lenguaje de comunicación el cual les permitía integrar fácilmente sus equipos de forma que al cliente ofrecían la seguridad de un sistema de comunicación digital integral. A este lenguaje desarrollado se le conoce como protocolo de comunicación y existen tres principalmente. Con el paso del tiempo los clientes empezaron a sufrir consecuencias por el uso de protocolos de un solo fabricante esto debido a que la automatización había llegado de lleno a los edificios y empresas, de tal forma que otras disciplinas hacían uso de la tecnología como el control de acceso, control de elevadores, detección y extinción de fuego, CCTV, iluminación etc. De esta forma muchos usuarios quedaron casados con una marca aunque no cumpliera todas sus expectativas, otros quedaron desfasados ya que hacer las nuevas implementaciones o actualizaciones era muy costoso ya sea por el mismo fabricante o bien por cambiar todo el sistema a algo más amigable y por otra parte las necesidades del cliente se volvieron muy diferentes a la concepción original de cada sistema, esto es que requerían una forma de integración sencilla y económica al igual que la posibilidad de actualizar e integrar a futuro sin grandes desembolsos. De esta forma la industria busca consenso de manera que se puedan adoptar estándares o normas para todos los subsistemas de integración en un edificio o planta industrial, con objeto de operar cualquier marca de equipos sobra una plataforma común esto es que exista interoperabilidad, antes de hablar de ella veremos los tres tipos de protocolos de comunicación el cerrado, el abierto y el standard.

4.5.1 PROTOCOLO CERRADO PROPIETARIO

El protocolo cerrado es un protocolo propietario utilizado únicamente por el equipo específico de un fabricante, esto implica que cada proveedor crea su propio protocolo con el fin de lograr comunicación y las funciones de

sus sistemas, por lo tanto cada fabricante optimiza su protocolo para sus aplicaciones, pero como el protocolo es propietario el cliente debe lidiar con el fabricante para cualquier modificación, agregado, mejora o adición al sistema. La primer forma de hacer los protocolos propietarios interoperables fue usando gateways estos gateways son tarjetas electrónicas que hacen las veces de un traductor o integrador y permiten pasar de un protocolo a otro, estas interfaces pueden ser de dos vías significa que cualquiera de los dos dispositivos puede iniciar la comunicación, pero típicamente son de una vía esto es que solo un dispositivo inicia la comunicación y el otro actúa como esclavo, aun con los gateways no es sencillo mantener los sistemas ya que estos deben ser actualizados cuando cambia el protocolo y se debe validar con el fabricante que se esta conectando la comunicación lo que genera gastos extraordinarios al usuario.

Un ejemplo de esta integración es cuando un chiller se desea conectar a un sistema automatizado existente. Las compañías que cuentan con ellos son Honeywell, Johnson Controls, Siemens, Andover, Alerton, Carrier, Trane, York, Mquay entre otras.

4.5.2 PROTOCOLO ABIERTO PROPIETARIO

Son protocolos desarrollados internacionalmente con reglas de comunicación estándares que están publicadas y son libres de uso por compañías, organizaciones, desarrolladores, fabricantes e integradores y permiten co-existir a los componentes de diferentes fabricantes en una misma red de comunicación. Estos componentes no requerirán de un gateway para comunicarse entre ellos, ni una estación de trabajo específica para visualizar los datos. Esto permite que los productos de más de un vendedor cumplan los requerimientos de una aplicación específica. Ejemplos de estos protocolos son FIP, Profibus y Lonworks con excepción de este último la mayoría de ellos surgieron de la aplicación en sistemas de control industrial

La utilización de un protocolo abierto no garantiza que el sistema DDC será abierto, ya que cada fabricante tiene la libertad de usar protocolos propietarios o abiertos, creando con ello su propio sistema cerrado, de esta forma el usuario o propietario continuo dependiendo de un solo fabricante. Hablemos de los principales.

ProfiBus

Es presentado por konnex una asociación creada por EIB, Batibus como una iniciativa Europea apoyada de manera significativa por el conglomerado Siems de Alemania, Konnex ofrece pocas alternativas para soluciones en varios niveles de comunicación por lo que su radio de acción se ve limitado y solo es apoyado y secundado por empresas europeas.

Este protocolo es un protocolo de transmisión por bus que opera bajo un sistema Multi maestro/ esclavo, existen tres versiones de Profibus las cuales han sido concebidas para diferentes aplicaciones en todos los casos comparten el protocolo de acceso por bus. Las tres versiones son:

Profibus-DP la cual es una versión de velocidad optimizada y bajo costo, esta versión DP es para comunicar sistemas de automatización y control y dispositivos de nivel distribuidos de entrada salida se comunica en RS 485 o en medio físico de fibra óptica.

Profibus-PA este es diseñado para automatización de procesos PA es comúnmente empleado en áreas seguras debido a que la comunicación y la alimentación es llevada a través de los dos cables (IEC 1158-2).

Profibus-FMS este es de propósito general para todos los niveles provee suficiente potencia para aplicaciones de servicios complejas, provee gran flexibilidad al comunicarse por RS-485 o fibra óptica y permite la comunicación Multi-maestro.

La estructura del bus permite la remoción o adición de dispositivos sin afectar a otras estaciones en la red de comunicación.

N2

En un protocolo abierto desarrollado por Johnson Controls para integrarse a su sistema de control Metasys, en el mercado existen algunas compañías desarrolladoras de software y hardware que fabrican y comercializan interfases para N2 una es a través de ruteadores que permiten integrarse al sistema y la otra es a través de desarrollos de plataformas administrativas de sistema las cuales son bidireccionales esta plataforma se comunica sobre redes WAN y Ethernet y busca reducir el numero de controles físicos para una red N2, sin embargo es solo aplicable a la integración de sistemas Johnson Controls por lo cual no es tan difundido comercialmente.

La literatura y formatos de aplicación de este protocolo no son libres como en el caso de otros protocolos abiertos, estos están sujetos al visto bueno de Johnson Controls aunque actualmente la Asociación Continental de Edificios Automatizados, CABA por sus siglas en ingles, ha tomado el liderazgo para definir los principios de este protocolo abierto a los diferentes vendedores de sistemas.

Lonworks

Lonworks es una plataforma de control creada por la compañía norteamericana Echelon. Las redes Lonworks describen de una manera efectiva una solución completa a los problemas de sistemas de control. Al igual que la industria informática, la industria del control fue creada, y en muchos casos todavía lo es, basada en soluciones centralizadas de control punto-a-punto. Esto significa que existe un "maestro" o controlador principal similar a una PC, físicamente cableado a cada punto de control particular, como actuadores o sensores, denominados "esclavos". El resultado final es funcional, pero es caro y difícil para mantener, ampliar y gestionar. Igualmente, es menos fiable frente a fallas, ya que la caída del controlador principal provoca la caída de todo el sistema. El comienzo de las redes Lonworks se basó en conceptos muy simples:

- 1) los sistemas de control son fundamentalmente idénticos, independientemente de la aplicación final;
- 2) un sistema de control distribuido es significativamente más potente, flexible, y ampliable que un sistema de control centralizado;
- 3) las empresas ahorran más dinero a largo plazo instalando redes distribuidas que instalando redes centralizadas.

La tecnología Lonworks proporciona una solución a los múltiples problemas de diseño, construcción, instalación, y mantenimiento de redes de control; redes que pueden variar en tamaño desde dos a 32,000 dispositivos y se pueden usar en cualquier aplicación desde supermercados a plantas de petroleras, desde aviones hasta ferrocarriles, desde medición por láser a máquinas de moldeo, desde rascacielos a viviendas particulares. Actualmente, en casi todas las industrias hay una tendencia a evitar los sistemas propietarios.

Todos los dispositivos presentes en una red Lonworks precisan de un chip Neurón. El Neurón está constituido internamente como tres microprocesadores en uno. Dos de los microprocesadores están optimizados para ejecutar el protocolo de comunicaciones, mientras que el tercero está dedicado a ejecutar el programa de control del nodo. Hay por tanto dos procesadores de comunicación y un procesador para la aplicación.

Disponer de dos procesadores dedicados a tareas de comunicación en red y uno dedicado a la aplicación asegura que la complejidad del programa no afecta negativamente a la respuesta de la red y viceversa. Adicionalmente, el hecho de encapsular ambas funciones en un solo chip ahorra tiempos de diseño y producción.

Ventajas Técnicas:

- El uso del chip Neurón garantiza un entorno de ejecución hardware para el protocolo. Para asegurar suficiente potencia de proceso, el protocolo se implementa como una mezcla de hardware y firmware.
- Diseñado para un amplio rango de aplicaciones, y fabricados en masa por dos de los mayores fabricantes de semiconductores del mundo, el chip Neurón ofrece una implementación del protocolo LonTalk más económica que cualquier otra solución propietaria.

El resultado neto se traduce en que el chip Neurón es el mejor y más económico procesador Lonworks para cualquier aplicación que precise potencia de proceso de 8 bits.

Actualmente mas de 4,000 compañías tienen certificados sus productos en este protocolo con aplicaciones que van desde transportación, control industrial, edificios y casas inteligentes.

4.5.3 PROTOCOLO ABIERTO ESTANDAR.

La industria decide responder a las constantes quejas de los usuarios por lo complejo que es realizar una integración y lo costoso que es integrar a diversos fabricantes en una red de comunicación. De esta forma se trabaja en generar un estándar para la industria de la calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) que permita integrarse a todos los fabricantes entre si, estableciendo reglas de comunicación y certificación de productos, de esta forma surge el protocolo BACNet y Lonworks. Los cuales son diferentes en la forma como fueron desarrollados y como operan. Lonworks se explico en el apartado anterior debido a que es un protocolo libre de uso (abierto) pero pertenece a una organización comercial (propietario) por lo cual aunque Lonworks es un estándar en la actualidad su clasificación proviene de un protocolo abierto propietario. Para fines prácticos la industria es liderada por BACNet y Lonworks

Modbus

Modbus fue originalmente desarrollado por la industria de controles industriales y es utilizado frecuentemente en aplicaciones de conectividad dispositivo a dispositivo, primeramente para generadores diesel, UPS's (fuentes de poder ininterrumpibles) y PLC's (controladores lógicos programables) su mayor uso es en la industria automotriz, textil y manufacturera en general.

BACNet

BACNet es un protocolo estándar publicado por la organización de estándares de la Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado –ASHRAE- por sus siglas en ingles. De manera que los vendedores de DDC crean su protocolo de comunicación para cumplir con esta especificación. Esto significa que este estándar tiene un amplio rango de fuentes incluyendo usuarios, proveedores y consultores. El protocolo BACNet ha sido revisado extensamente y modificado para cumplir con las sugerencias y mejoras enviadas por los revisores, debido a que es un estándar este solo puede ser modificado por aprobación en consenso.

BACNet es un estándar que define la implementación del protocolo conformando sentencias (PICS) que definen los diferentes niveles de cumplimiento, esto significa que un determinado vendedor puede o no puede soportar el nivel requerido para una determinada aplicación, en otras palabras un vendedor puede cumplir en un nivel muy bajo de cumplimiento y ser un BACNet compatible, la pregunta es. A que nivel?

BACNet determina como se comparten los datos entre los sistemas y que datos se comparten, esto se logra por el modelado de funciones comunes en grupos llamados objetos. BACNet define muchos objetos diferentes pero los más básicos son las entradas analógicas y las entradas binarias.

La idea básica detrás de BACNet cuando fue implementado era crear una serie de estructuras de datos simples llamados objetos que podían ser ensamblados como se requiriera o necesitará para describir cualquier control directo digital DDC en su software de sistema

Los objetos se construyen en BACNet como una base de datos describiendo a todos los controladores en el sistema de administración del edificio (BAS). Descubriendo que objetos hay en un nuevo controlador y conociendo como se acomodan los datos propietarios dentro de cada tipo de objeto, la información se convierte direccionable y accesible a todos los dispositivos BACNet en la propia red. Así el estándar sirve a los diseñadores de equipo como un diccionario y manual de gramática para hablar BACNet.

Hay un número limitado de objetos primitivos en BACNet que no pueden ser ensamblados, pero se requieren para construir el modelo de software de cualquier controlador, en la misma forma en que las limitadas letras del alfabeto pueden ser conjuntadas en una variedad infinita de palabras, oraciones y frases, si es necesario un vendedor puede agregar objetos propietarios y sus propiedades.

BACNet no restringe como se conectan los controladores en la red, permite la integración de múltiples tipos de cableado y esquemas de comunicación, los cuales se clasifican en orden de velocidad decreciente y costo decreciente desde Ethernet hasta ARCNET, Lon Talk y MS-TP(master/slave-token/passing usando cableado RS-485), a PTP (punto a punto, RS-232) cableado para modem remoto tie-ins. De esta forma puede ser única la red o múltiples redes con diferentes velocidades de transferencia veamos la gráfica 4.17

Protocolo	Referencia	Velocidad
Ethernet	ISO 8802-3	10 Mbps
ARCNET	ATA/ANSI 878.1	156kbps
MS/TP (Master-Slave/Token Passing)	EIA-485 (RS-485)	9.6kbps, 19.2kbps, 38.4kbps, 76.8kbps
PTP (Point-To-Point)	EIA-232 (RS-232)	9.6kbps - 56kbps
LonTalk	Version 3.0 (ANSI/EIA 709.1-A1999)	32kbps - 1.25Mbps

Figura 4.17 NIVELES DE INTEGRACION BACNet

Además hay dos métodos para enviar mensajes BACNet sobre Internet para construir una red de área ancha. En breve podemos decir que hay muchas opciones para ofrecer a los especificadores donde pueden escoger desde la solución menos costosa hasta la más veloz para altos volúmenes de tráfico de datos en cada nivel de automatización del sistema del edificio (BAS) solo hay que tomar en cuenta que no todos los vendedores se integran con todas las opciones.

4.6. INTEROPERABILIDAD

La interoperabilidad se define como la capacidad de integrar productos de distintos fabricantes en sistemas flexibles y funcionales sin necesidad de desarrollar hardware, software o herramientas a medida. Por integrar no se entiende el hecho de poder “ver” a otro dispositivo, sino la capacidad de hacer cosas como utilizar un único sensor de ocupación para el sistema de climatización, el de alumbrado y el de seguridad de un edificio.

Otro ejemplo posible sería el de tomar determinada actuación en nuestra línea de montaje en base a la información del sistema contra incendios de nuestro edificio.

Algunos de los beneficios de la interoperabilidad

- Los productos interoperables permiten a los diseñadores de cada proyecto utilizar el mejor dispositivo para cada sistema o sub-sistema sin verse forzados a utilizar una línea entera de productos de un mismo fabricante.
- Los productos interoperables incrementan la oferta del mercado permitiendo a diferentes fabricantes competir en un segmento que de otra manera les estaría completamente prohibido. De esta manera, los diferentes fabricantes se esfuerzan por disponer de la mejor solución y esto se traduce en una mayor calidad y libertad de elección para el usuario final.
- La interoperabilidad reduce los costos de los proyectos al no depender de manera exclusiva de un solo fabricante.⁸⁰
- Los sistemas interoperables permiten a los responsables de mantenimiento de los edificios y plantas industriales el monitoreo de las instalaciones utilizando herramientas estándar, sin importar que empresa ha fabricado cada sub-sistema.

4.6.1. FUNCIONES DEL SISTEMA PARA INTEROPERABILIDAD

Sin importar el método seleccionado para lograr la interoperabilidad en un sistema DDC este debe cumplir al menos cinco tareas básicas.

Intercambio de datos consiste en el intercambio de datos entre dos dispositivos, en la misma manera que cambiamos el set-point de un termostato, introducimos un nuevo valor, que equivale a escribir los valores de objetos análogos y de salida binaria así como objetos de valor. Estas simples funciones pueden ser empleadas para compartir entre controladores, proveer datos para gráficas en una PC, comandar luces o enviar los datos a una muestra de tendencia. Son funciones que deben ser soportadas por un sistema interoperable.

Alarmas y eventos esta función provee al operador una notificación de condiciones fuera de lo normal. Un controlador que ha determinado que un evento ha ocurrido debe ser capaz de enviar un mensaje de alarma a una locación predeterminada.

Cédulas de horarios este es un conjunto de funciones que permiten la edición y creación de horarios desde una PC y que serán ejecutados en un controlador.

Tendencias esta es la habilidad para muestrear, almacenar y leer tendencias de una función valiosa, la tendencia es una herramienta para recabar datos del comportamiento del sistema y el uso de la energía, las tendencias se tienden a almacenar por razones de archivo en una PC existen razones para realizar las muestras en el controlador y esto es debido a que reduce el tráfico de información en la red y también permite el muestreo de datos si la red no esta permanentemente conectada a la PC.

Administración de la red esta es la función final de la interoperabilidad proveer la habilidad para administrar los diferentes dispositivos conectados a la red, incluyendo tareas como monitoreo de las pérdidas de comunicación y coordinando los ajustes de horario en los relojes de cada controlador.

4.6.2. ESPECIFICANDO INTEROPERABILIDAD

Por que es necesario especificar la interoperabilidad? debido a que los usuarios buscan una serie de objetivos en cada sub-sistema y uno de los primeros es tener un método para conectar estos dispositivos inteligentes en un solo sistema de forma horizontal, el segundo punto es que cada uno de los diferentes y variados dispositivos funcionen en un solo sistema sin la necesidad de programar un software adicional para hacerlos funcionar. Recordemos que cada proyecto tiene diferente origen y alcance puede ser un proyecto de una nueva instalación con un sistema suministrado por varios proveedores o bien una expansión de una instalación existente. De tal forma que una especificación prescriptiva debe detallar las bases sobre las cuales el sistema será diseñado, para el caso de los sistemas de control los parámetros de comunicación forman la base junto con el tipo de medio físico y el protocolo en que se transferirá la información. Si estos detalles no se definen bien al principio causaran costos adicionales que no son permitidos ni justificables una vez aprobados los presupuestos.

Una especificación efectiva ahorrara tiempo, comunicación y dinero, ya que le indica al vendedor y al contratista exactamente que funcionalidad es esperada al igual de que equipo a emplear al parejo se determinan en ella los equipos que aseguran el cumplimiento de la interoperabilidad o se encuentran certificados.

CAPITULO V

5. IMPLEMENTACION DE UN CONTROLADOR PARA CAJAS VAV CON PROTOCOLO BACNET

5.1 INTRODUCCION

En la actualidad, hablar de aire acondicionado cada vez es más frecuente, quizás porque el uso de estos sistemas ya no es considerado como un lujo sino como una necesidad, debido a los cambios climatológicos que hemos tenido en las últimas décadas como resultado del calentamiento global de la Tierra. Por otra parte, encontramos a un México con un creciente desarrollo en la industria de la construcción de edificios tanto residenciales como comerciales, y a la vez un país con apertura comercial y acceso a la tecnología de punta con tratados de libre comercio en todas las regiones. Para las empresas relacionadas con la industria del aire acondicionado, esta reflexión no pasa desapercibida, pues los invita a analizar áreas de oportunidad para hacer crecer su participación en este mercado.

Dentro de las aplicaciones que encontramos en el campo del aire acondicionado tenemos por ejemplo, el control de temperatura por zonas, el cual es muy frecuente emplearlo tanto en edificios comerciales o de oficinas. Este control de temperaturas por zonas se realiza con el uso de cajas o compuertas de volumen de aire variable (cajas VAV). En base a este análisis, encontramos que existe una gran oportunidad para los fabricantes de cajas VAV para participar en estos proyectos, y si, aunado a esta demanda, observamos además que los usuarios o propietarios de este tipo de edificios también implementan o adquieren un sistema de control digital directo (DDC) para controlar su sistema de aire acondicionado, tenemos como resultado que aquellas empresas que su negocio no es el control DDC sino la fabricación de componentes periféricos para aplicarlos a estos sistemas se ven limitadas y quedan fuera de competencia en este rubro, específicamente hablamos de una empresa fabricante de actuadores para compuertas o cajas VAV.

En este capítulo desarrollamos en sí, el tema que le da nombre a esta tesis y que está basado en una necesidad real de mercado. Tomando el caso de una empresa que tiene posicionadas la mayor parte de sus ventas en tres canales: Distribuidores (venta de producto), Integradores (empresas enfocadas a la automatización y control) y Fabricantes de Equipo Original. A través de sus distribuidores logra colocar sus productos con los contratistas de aire acondicionado, quienes realizan la instalación de todo un sistema de aire acondicionado. A través de los integradores logra ser parte de un sistema de control DDC para automatizar los equipos de aire acondicionado. Y a través de los fabricantes de equipo original logra ser parte de un producto terminado como es el caso de las cajas VAV.

En base a lo anterior, la visión de esta empresa, fabricante de actuadores, la cual ya cubre el mercado de aplicaciones de control de cajas VAV sin integrar a un sistema computarizado, es lograr emplear su controlador existente de bajo costo y de fácil configuración y lograr que éste sea capaz de integrarse a los actuales sistemas de automatización y control que cuentan con un protocolo de comunicación para su integración. Nuestra propuesta incluye la plataforma BACNet debido a que es un protocolo abierto estándar y el de mayor implementación en el mundo.

5.2 EL MERCADO DE CAJAS VAV EN MEXICO

Como mencionamos anteriormente, es un hecho latente el incremento de la demanda de los sistemas de aire acondicionado en México, sobre todo en zonas en donde que hace no mucho tiempo no era indispensable un equipo de aire acondicionado como en la zona centro del país. También, la industria de la construcción sigue creciendo año con año y con ella la construcción de edificios comerciales como edificios de oficinas, centros comerciales, hospitales, laboratorios, escuelas, centros de autoservicio, etc. Para las aplicaciones de volumen de aire variable el principal consumidor de esta aplicación son los edificios para oficinas debido a su forma de operar, ya que, como hemos visto en el capítulo II, los sistemas VAV son mas aplicados en áreas que se requieren tener una temperatura independiente.

El año pasado (2005), la industria de la construcción creció un 4.8% con respecto al 2004, industria a la cual va ligada la industria del aire acondicionado. En un análisis realizado, con entrevistas a fabricantes de equipos, distribuidores y contratistas de aire acondicionado se llegó a la conclusión de que el tamaño del mercado de cajas VAV en México es aproximadamente de 8,000 unidades anuales, número que resulta atractivo para cualquier empresa que su negocio es este tipo de producto.

Si consideramos que del 100% de los sistemas de aire acondicionado que se venden en el país, el 40% se automatiza en protocolos estándares, entonces tendremos una demanda de 3,200 cajas VAV con control para interoperabilidad en el mercado. Si además analizamos que esta empresa cuenta con 40% de participación del mercado, la conclusión es que podría vender al año alrededor de 1280 controladores para VAV, y si estimamos un precio de venta aproximado de 250 USD controlador, entonces la posibilidad inicial sería de 320,000 USD, cifra que resulta atractiva si lo vemos como un ingreso extra a las ventas totales de la empresa, pero sobre todo el generar una nueva plataforma de bajo costo para integrar a BACNet que le permitiría posicionarse como la solución de interoperabilidad para cajas VAV mas sencilla y económica del mercado lo cual le va permitir no solo atacar el mercado nacional sino el de exportación donde Estados Unidos es el mercado mas grande de Aire Acondicionado en el mundo. En la figura 5.1 vemos una caja VAV.

5.3 CONTROLADOR PARA CAJAS VAV

Una vez analizada la demanda del mercado y concluyendo que sí es viable, comercialmente hablando, la implementación de un controlador para VAV con interoperabilidad BACNet, entonces es obligado pasar a la parte técnica.

Se cuenta con un dispositivo electrónico que tiene incorporado un sensor de presión, un controlador digital y un actuador para compuerta, la cual es una solución compacta para VAV. A este controlador-actuador para VAV lo denominaremos como modelo CA-VAV para no emplear su modelo original ni el nombre de su fabricante.

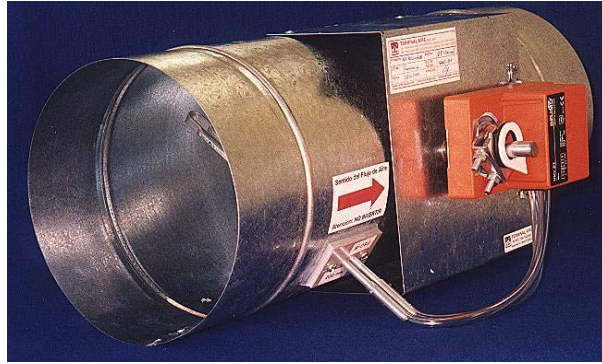


Figura: 5.1 CAJA DE VOLUMEN DE AIRE VARIABLE (VAV)

5.3.1 APLICACION

El controlador para VAV CA-VAV cuenta con una característica de control PI (Proporcional Integral) y es empleado en aplicaciones de control por presión independiente en unidades de control de aire VAV. Dentro de las aplicaciones más comunes tenemos las siguientes:

Control de Flujo Constante

Esta aplicación es empleada en donde se requiere que el espacio a acondicionar cuente con un flujo de aire constante, como es el caso en que la temperatura del área acondicionada ya ha sido satisfecha y sin embargo es necesario mantener una cierta cantidad de aire (volumen de aire mínimo - V_{MIN}) para ventilación. En este caso el controlador determinará la posición adecuada del actuador de la caja VAV y por consiguiente mantener un flujo de aire constante.

Control de Flujo Variable

En el control de flujo de aire variable, se requiere que en el espacio a acondicionar la temperatura sea constante, por lo que el controlador establecerá de manera modulante la posición adecuada para mantener la temperatura deseada en base a la temperatura de espacio actual y el flujo de aire que se está suministrando figura 5.2.

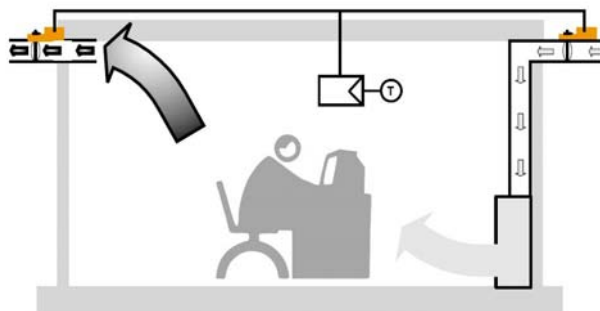


Figura: 5.2 CONTROL DE FLUJO CONTANTE O VARIABLE

El elemento más usual para este caso en particular es un sensor basado en el principio del tubo Pitot, ubicado en la boca de inyección, con forma en cruz, en anillo de forma cuadrada o cruzado diametralmente, figura 5.3, fabricado en plástico, aluminio o cobre de $\frac{1}{4}$ de pulgada de diámetro.

FORMAS HABITUALES DE SENSORES DE FLUJO PARA CAJAS VAV

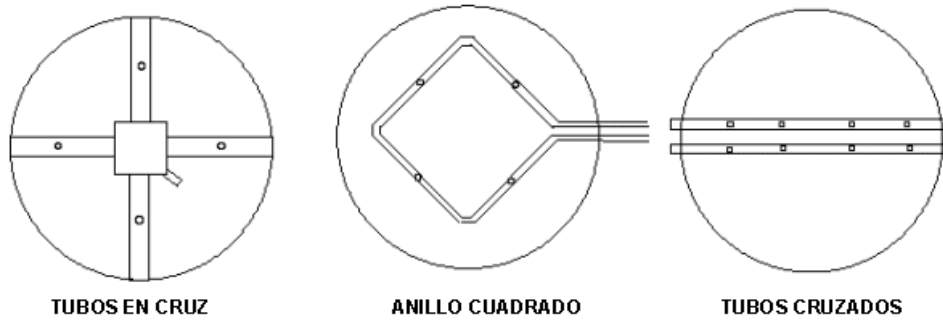


Fig. 5.3 FORMAS HABITUALES DE SENSORES DE FLUJO PARA CAJAS VAV

El medidor primario tipo Pitot modificado está compuesto básicamente de dos tubos, uno de los cuales capta la carga de impacto o alta presión (suma de la carga dinámica y carga de presión) y el otro tubo capta la carga de presión o baja presión. De la diferencia entre la carga de impacto y la carga de presión se obtiene la carga dinámica, la cual es proporcional al cuadrado de la velocidad del flujo en movimiento. La correlación de la carga dinámica con la velocidad del fluido para determinar el caudal está definida por la Ecuación de Bernoulli:

$$P_1 + \frac{V_1^2 \rho}{2} + Z_1 \gamma = P_2 + \frac{V_2^2 \rho}{2} + Z_2 \gamma$$

Los valores para Z1 y Z2 son iguales a 0, ya que se encuentran a la misma altura. La velocidad en el punto 2 es considerada como 0 ya que su valor es demasiado pequeño (casi 0).

Por lo tanto se eliminan de la ecuación anterior.

$$P_1 + \frac{V_1^2 \rho}{2} + Z_1 \gamma = P_2 + \frac{V_2^2 \rho}{2} + Z_2 \gamma \quad (1)$$

Reduciendo la expresión anterior se obtiene:

$$P_2 - P_1 = \frac{V_1^2 \rho}{2} \quad (2)$$

Una vez reducida la ecuación se despeja para la velocidad en el punto uno

$$V_1^2 = \frac{2\Delta P}{\rho} \quad (3) \quad V_1 = \frac{Q}{A} \quad (a)$$

Aplicando la ecuación para el caudal (a), en sustitución de V1 queda:

$$\frac{Q^2}{A^2} = \frac{2\Delta P}{\rho} \quad (4)$$

Y despejando la ecuación para el caudal (Q) se obtiene la siguiente ecuación:

$$Q = \sqrt{\frac{2A^2 \Delta P}{\rho}} \quad (5)$$

Como el área y el coeficiente '2' son constantes se simplifica la ecuación como sigue:

$$Q = C \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \quad (6)$$

C = Constante de Pitot

Pero el valor 'C' tiene valores menores a uno, por lo que el valor de calibración 'K' es una variable interna del Actuador y representa la presión diferencial medida en el dispositivo de captación cuando por la caja VAV pasa el Volumen Nominal, este valor tiene un rango de 1,500 a 7,000

5.3.2 MODO DE OPERACIÓN

Para saber cuanto abrir y cerrar la compuerta que va a permitir el flujo de aire a una habitación, el actuador (que es el que abre y cierra la compuerta) necesita tener como dato el Volumen Nominal de Aire y el Valor "k". El Volumen Nominal es el caudal máximo que puede pasar por la caja VAV debido a su propia construcción y es el valor que se debe tomar como referencia a la hora de parametrizar una caja VAV. Dicho valor de calibración sirve por tanto como referencia para la lectura de caudal y depende de la construcción de la caja y especialmente del dispositivo de captación, éste último se puede obtener mediante el diferenciador de presión con el que cuenta el actuador figura 5.4, que para este caso está conectado a una interfase que a su vez está conectada a una computadora ver figura 5.5.

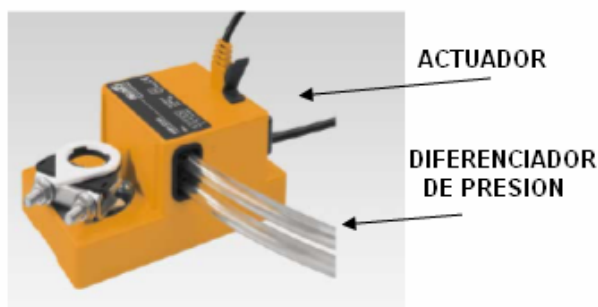


Figura: 5.4 MANGUERAS DEL DIFERENCIADOR DE PRESION

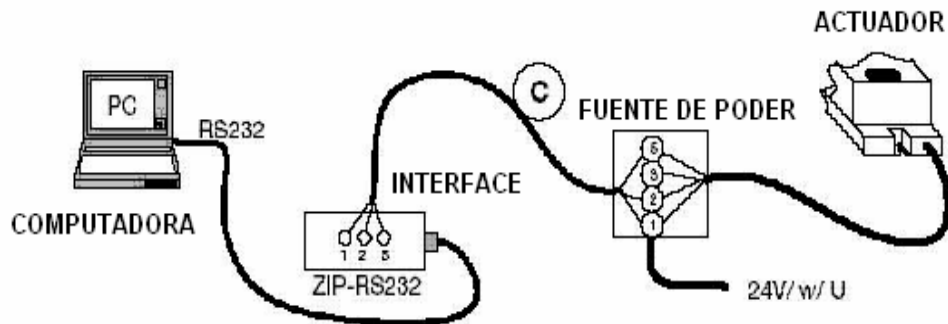


Figura: 5.5 ESQUEMA DE INTERFACE DE COMUNICACION

En la figura 5.6 se muestra un esquema sencillo de un sistema VAV, el cual consta del actuador, termostato y diferenciador de presión. Desde el termostato se manda la señal al actuador para dejar pasar aire, dependiendo de los datos ya programados y los medidos por el diferenciador de presión.

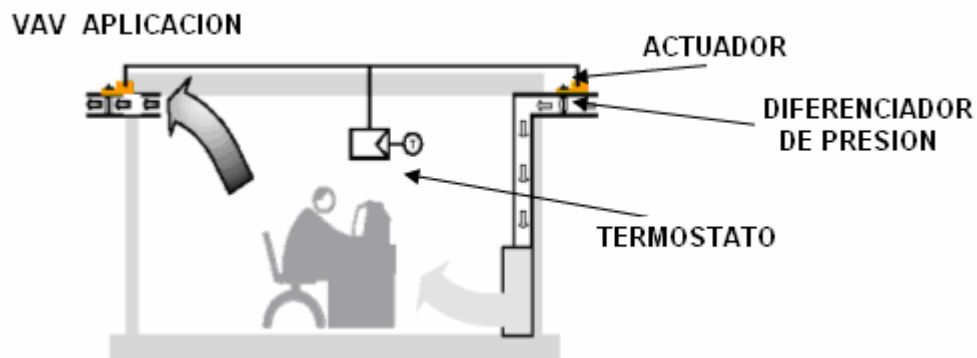


Figura: 5.6 APLICACIÓN DE UN SISTEMA VAV

Diagrama a bloques

En la sección de medición del dispositivo (sensor electrónico y linearización) la señal de presión diferencial no lineal del sensor es convertida a una señal proporcional lineal con relación al flujo volumétrico. El valor de referencia w es condicionado como la señal de la consigna (setpoint) dependiendo de los ajustes de operación del flujo volumétrico V_{MIN} / V_{MAX} . Las desviaciones de control instantáneas forman la señal de posición para el actuador integrado. El flujo volumétrico actual está disponible a través de una terminal del controlador como una señal de valor actual tanto para fines de despliegue como para controlar a uno o más controladores esclavos.

La lógica del tiempo de recorrido especialmente diseñada para el CA-VAV en conjunto con el sensor de precisión de presión diferencial, asegura una excelente calidad en el control para cualquier unidad VAV, ver figura 5.7.

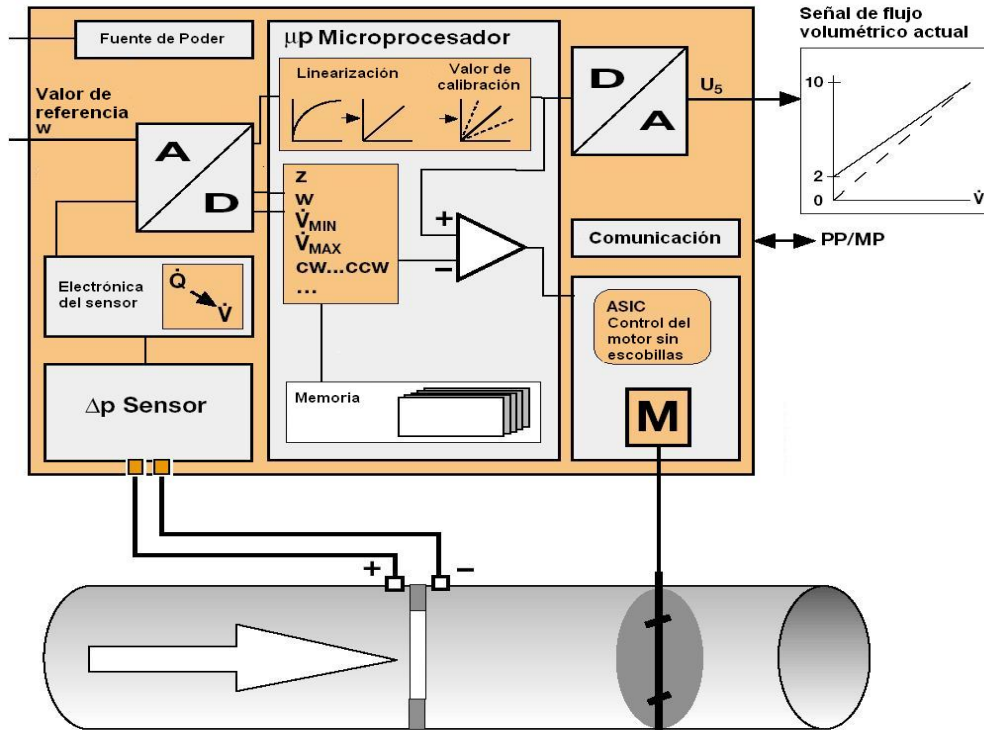
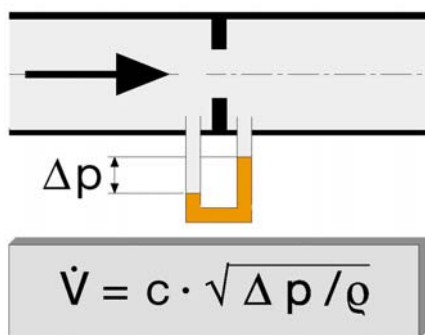


Figura: 5.7 DIAGRAMA A BLOQUES DEL CONTROLADOR – ACTUADOR CA-VAV

Medición del Flujo volumétrico

La medición del flujo volumétrico es realizada por medio de un dispositivo de muestreo de presión diferencial que usualmente toma la forma de una plancha con orificios, una boquilla vénturi, un anillo deflector o un tubo en forma de cruz localizado en la ductería del aire, figura 5.8. Se han establecido en el mercado diferentes métodos de medición del flujo volumétrico.



- V = Flujo volumétrico
- C = Constante de relación de geometría del dispositivo deflector (Dispositivo de muestreo de presión diferencial, dimensiones, etc.
- Δp = Presión diferencial
- ρ = Densidad del medio del flujo

Figura: 5.8 MEDICION DE FLUJO VOLUMETRICO

Medición de presión diferencial confiable y precisa

La clave para un control de flujo volumétrico preciso

El método de medición de presión diferencial empleado por este controlador-actuador permite una medición confiable de un valor obtenido, figura 5.9 aun cuando las condiciones del flujo de entrada sean imperfectas.

Cada tipo de dispositivo de muestreo usado para la medición de presión diferencial tiene su propia característica dinámica. El efecto del dispositivo de medición para calcular el flujo volumétrico es denotado como una constante del dispositivo c . En la práctica y contrario a su nombre, esta constante no permanece constante ya que depende de la masa del flujo. Cada tipo de dispositivo de muestreo de presión diferencial tiene una diferente cantidad de respuesta no lineal dependiendo de su construcción y la relación física involucrada.

Existen solo 3 materiales diferentes materiales en contacto con el flujo del aire:

- El cuerpo del sensor (PC + ABS a UL94-V0)
- Boquilla del tubo de acero con cromo-níquel
- Sujetador del tubo de Santopreno

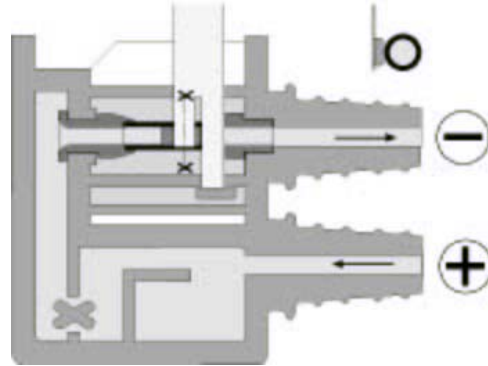


Figura: 5.9 CONTRUCCION DEL SENSOR

Este controlador para VAV CA-VAV emplea un tipo de dispositivo de muestreo de presión diferencial en particular el cual toma una serie de mediciones de referencia. Se le aplica una compensación a la curva de referencia obtenida empleando un procedimiento de linealización desarrollado por el fabricante de este controlador.

Características de el sensor de presión diferencial interno en el controlador- actuador.

- Preciso, emplea un principio termo-anemónico de medición con compensación por temperatura.
- Amplio rango de medición de 2 a 300 Pa, alta precisión en comparación con otros ordinarios fabricantes de dispositivos de muestreo de presión diferencial.
- No requiere una calibración del cero durante su configuración o servicio normal.
- Libre de mantenimiento, tecnología probada con una amplia variedad de aplicaciones.
- No retiene la condensación en el sensor, puede ser montado en cualquier posición
- La medición no es afectada por la posición, no requiere instrucciones de montaje
- No es sensitivo a la contaminación debido a que los elementos de medición son localizados fuera del flujo de aire.

5.3.3 FUNCIONES: AJUSTES DEL FLUJO VOLUMETRICO DE OPERACIÓN

Flujo volumétrico nominal V_{NOM}

Las consideraciones de alimentación y ruido dictan que el valor de flujo volumétrico para un tamaño en específico de ducto no debería exceder un cierto límite. El valor ligado la flujo volumétrico nominal es definido por el fabricante quien es responsable del correcto funcionamiento de sus unidades VAV.

El ajustar el valor nominal de flujo volumétrico, también conocido como valor de calibración, hace posible el poder adaptar al controlador CA-VAV a un tipo en particular de unidad VAV. El tamaño, el flujo volumétrico nominal y los parámetros de operación de la unidad son tomados en cuenta y prefijados. V_{NOM} es el flujo volumétrico máximo posible de la unidad VAV, en la cual la caída de presión y los niveles de ruido están en los límites de operación permitidos.

El método de calibración que emplea el fabricante del controlador CA-VAV, denominado método de calibración activa, realiza la calibración de acuerdo a un valor de referencia del flujo volumétrico y compensa las desviaciones causadas por tolerancias mecánicas en el proceso de fabricación.

Al momento que estos valores y datos de operación de una unidad VAV en particular son únicos, el procedimiento es empleado por los fabricantes de cajas VAV durante el ensamble en la fábrica.

Este método interpreta todos los demás ajustes en sitio y calibraciones innecesarios, un importante factor que ayuda a ahorrar tiempo y reduce costos durante la instalación y configuración.

Ajuste del flujo volumétrico de operación V_{MIN} / V_{MID} / V_{MAX}

La característica lineal del controlador de volumen de aire permite un fácil ajuste de los rangos de operación del flujo volumétrico para el sistema. Estos ajustes son normalmente llevados a cabo por el fabricante de la unidad VAV o durante la configuración del sistema. V_{MAX} proporciona el límite superior de dependiendo de el valor nominal de flujo volumétrico. V_{MIN} puede ser ajustado como un porcentaje de el V_{MAX} requerido.

Para aplicaciones de volumen constante (CAV) hay un valor disponible de posición media para lograr un mejor control.

- El mínimo ajuste de flujo volumétrico V_{MIN} depende de la actual unidad VAV utilizada.

Función	Flujo Volumétrico	Rango de Ajuste
V_{NOM}	Nominal	Valor especificado por el OEM, de acuerdo al tipo de VAV y aplicación
V_{MAX}	Máximo	0...100% [$(V_{MIN} - V_{MAX}) + V_{MIN}$]
V_{MID}	Posición Media	0...100% de V_{MAX} (*Dependiendo del OEM)
V_{MIN}	Mínimo	30...100% de V_{NOM}

Ajustando V_{MIN} a 0%

El actuador de posiciona para cerrar la compuerta cuando el flujo volumétrico mínimo ha sido ajustado a 0% y el valor de la señal de referencia alcanza este valor.

Herramientas para ajustes

Las siguientes herramientas, figura 5.10, son empleadas para ajustar los parámetros del flujo volumétrico de operación:

- Dispositivo de parametrización MFT-H
- Programa de cómputo para parametrización y servicio PC-Tool.



TERMINAL PORTATIL (MFT.H)



PC-TOOL

Figura: 5.10 TERMINAL PORTATIL (MFT.H) Y PC-TOOL

Valores básicos del fabricante de equipo original (OEM)

Durante el proceso de calibración, el fabricante de unidades VAV ajusta el flujo volumétrico de operación que fue calculado en la etapa de planeación del sistema.

Los valores básicos del OEM pueden ser reactivados en cualquier momento empleando la función de reestablecimiento del dispositivo.

Señal de flujo volumétrico Actual U_5

La señal de flujo volumétrico actual U_5 , representa el valor actual de flujo volumétrico medido a través del sensor de presión diferencial de la unidad VAV.

Este valor corresponde al 0...100% de el valor establecido como flujo volumétrico nominal. V_{NOM} es ajustado por el fabricante en su planta y es marcado sobre la unidad VAV.

La señal de flujo volumétrico actual:

- **Corresponde en un rango de 0...100% de V_{NOM}**
- **Representa el valor actual del flujo volumétrico**
- **No es afectado por los valores de V_{MIN} y V_{MAX}**
- **Puede ser adaptado en formato de señal por modo de ajuste de respuesta variable**

Nota:

Es recomendado que la Terminal número 5 (señal actual de flujo volumétrico U_5/PP) de cada controlador VAV puede ser configurado sin necesidad de tener acceso directo al controlador VAV.

Valor de referencia w

Debido al valor de la señal de referencia w , el flujo volumétrico puede ser modulado dentro de un rango predeterminado. Esto permite un control sensitivo de ventilación por demanda, de un salón de descanso por

ejemplo; por medio del cual el flujo volumétrico puede ser incrementado desde un valor mínimo (ventilación para propósitos de higiene) hasta los valores máximos de acuerdo a la temperatura del cuarto.

Para este propósito, la señal de salida desde un controlador de referencia o una consigna (setpoint) en un dispositivo es suministrada al valor de entrada de referencia del CA-VAV. La señal modula el flujo dentro de un rango predeterminado de operación del flujo volumétrico.

La señal de referencia w:

- **Es lineal en el rango de $V_{MIN} \dots V_{MAX}$**
- **Es usado para controlar al CV-VAV en aplicaciones de VAV y CAV**
- **Puede ser adaptado en formato de señal por modo de ajuste de respuesta variable**

Supresión el movimiento del flujo

La tarea de la supresión del movimiento del flujo es suprimir las señales de presión diferencial alrededor de cero. Esta limitación es posible para prevenir movimientos indefinidos del actuador dentro del rango de presión menor a 2 Pa. Este tiene un límite físico para su rango de operación debido a la característica dinámica del dispositivo de muestreo de presión diferencial; y en este rango, cuentan con un patrón e flujo medio y su respuesta del umbral del sensor.

El límite mínimo (dependiendo de la unidad VAV)

El sobre-dimensionamiento de una unidad VAV puede causar dificultades con la control-habilidad en la parte baja del rango de operación. Los fabricantes indican los valores mínimos permitidos de flujo para sus unidades, lo cual es generalmente una presión diferencial entre 5...12Pa. Adicionales a los ajustes del flujo volumétrico especificado por el fabricante de la unidad que previene las limitaciones de funcionalidad en este rango.

Modo de operación:

- **Flujo Volumétrico Constante CAV**
- **Flujo Volumétrico Variable VAV**

El actuador CA-VAV puede ser empleado para dos modos de operación: “Flujo Volumétrico Constante – CAV” y “Flujo Volumétrico Variable – VAV”. En ambos casos el actuador CA-VAV funciona como un lazo de control independiente, por ejemplo, cualquier fluctuación que se presente en el sistema de ductos es detectada y por consiguiente compensada automáticamente.

Flujo Volumétrico Constante – CAV

En aplicaciones con flujo volumétrico constante el actuador CA-VAV regula el flujo para lograr un valor requerido constante. Si es necesario, se pueden establecer previamente una o varias etapas de operación.

Se tienen disponibles las siguientes etapas de operación (Modo 2-10 VDC):

CLOSE / V_{MIN} / V_{MID} / V_{MAX} / OPEN.

- Fuera de operación – compuerta cerrada (la compuerta es movida hacia la posición definida como CERRADA)

- Etapas de operación V_{MIN} / V_{MID} / V_{MAX} . El actuador CA-VAV proporciona una regulación fina al flujo volumétrico predeterminado.
- Operación sin controlar – compuerta ABIERTA: Para una ventilación máxima, la compuerta puede ser abierta al 100%; el control del flujo volumétrico del aire no es operativo.

Indicación: V_{MID} y OPEN no están disponibles con alimentación a 24 VDC.

NOTA: Ver diagrama de conexiones

Flujo Volumétrico Variable – VAV

Para una operación con flujo volumétrico variable, el valor requerido de flujo volumétrico es suministrado con una señal de referencia en un rango ajustable de 0/2-10 VDC o sobre el bus de comunicación del sistema. El flujo volumétrico requerido es establecido linealmente dentro de los parámetros de V_{MIN} – V_{MAX} .

- Fuera de operación – compuerta cerrada con $V_{MIN} = 0\%$
Si el cierre total fuera necesario durante la operación de la caja VAV, este puede ser efectuado fijando $V_{MIN} = 0\%$
- Fuera de operación – compuerta cerrada con control 0 – 10 VDC en Modo 2 – 10 VDC:
En Modo 2 – 10 VDC las siguientes funciones pueden ser obtenidas con una señal de 0 – 10 VDC:

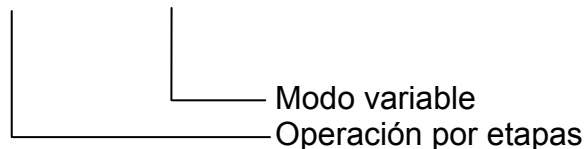
Señal de referencia w	Flujo volumétrico	Función
<0.1 V	CERRADA	Compuerta ABIERTA, Control VAV inactivo
0.2 – 2 VDC	V_{MIN}	Etapa de operación: V_{MIN} Inactiva
2 – 10 VDC	$V_{MIN} - V_{MAX}$	Operación Modulante de $V_{MIN} - V_{MAX}$

INDICACION: El controlador/DDC debe tener la posibilidad de regular la señal de referencial a 0 VDC.

Flujo Volumétrico Variable con operación por etapas

Cuando sea necesario, es posible emplear una mezcla de los modos de operación – “Flujo Volumétrico Variable con operación por etapas”.

Ejemplo: CERRADO / $V_{MIN} - V_{MAX}$. (Modo 2 – 10 VDC).



5.4 PROGRAMA PC-TOOL PARA EL FABRICANTE DE EQUIPO ORIGINAL

Como se menciona en el capítulo 2, cada zona a acondicionar requiere de cierta cantidad de volumen de aire, el cual deberá de estar dentro de un rango máximo y mínimo, mismo que debió ser previamente calculado basándose en la carga térmica de cada zona.

Tomando como base este diseño, se selecciona cada compuerta de volumen de aire variable que nos proporcione el flujo máximo requerido de acuerdo a los rangos de flujo comerciales. El fabricante de este tipo de compuertas VAV las ha diseñado para manejar cierto flujo nominal pero además, con la posibilidad de limitarlo entre un rango mínimo y un máximo de aire gracias a la tecnología incorporada en el controlador-actuador empleado.

En forma adicional, el fabricante debe tener la flexibilidad de ofrecer al instalador, una compuerta con el controlador-actuador montado en el lado izquierdo o derecho de acuerdo a las características de la instalación, entre otros parámetros. El programa de cómputo, propiedad del fabricante del actuador-controlador denominado PC-Tool, está diseñado para que el fabricante de equipo original programe los controladores de acuerdo al modelo o tipo de caja a ser instalado con las características de cada instalación o aplicación.

Otra cada controlador-actuador CA-VAV, pero además para diseñar o determinar los parámetros de configuración de fábrica.

5.4.1 CALIBRACION, CONFIGURACION Y AJUSTES

Linearización, Calibración

En el proceso de adaptación del controlador-actuador CA-VAV a la unidad Terminal del fabricante, figura 5.11, es muy común escuchar términos como linearización, respuesta de calibración o valores de calibración. Pero ¿Qué es lo que significan? ¿Cual es la diferencia?

Linearización

Los dispositivos de medición, como los del tipo cruceta o rombitos, son empleados para medir la presión diferencial existente en las diversas características dinámicas. El efecto de este dispositivo de medición para el cálculo del flujo volumétrico es tomado en consideración por la constante del dispositivo "C". En la práctica, contrario a como lo su nombre lo sugiere, esta constante no permanece constante ya que esta varía de acuerdo al flujo de la masa. De acuerdo al diseño basado en la simple relación física, cada sensor de presión diferencial cuenta con una curva característica que es no lineal en mayor o menor grado.

Calibración (Ajuste de Valores de Calibración)

Durante el proceso de calibración, también denominada ajuste de los valores de calibración, el controlador-actuador CA-VAV es relacionado para operar con los valores nominales del flujo volumétrico de la unidad.

Con el método de calibración activa, en la calibración con un valor de referencia del flujo volumétrico se aplica cierta compensación debido a las que traen consigo tolerancias mecánicas en los procesos de manufactura. Debido a que estos valores y la información de cada zona individual para el sistema HVAC son únicas, los fabricantes de unidades o cajas VAV desarrollan este proceso durante el ensamble en la planta.

5.4.2 SISTEMA DE CALIBRACION

El diseño de un sistema de calibración, especialmente la medición del los valores de referencia, tienen un efecto sobre la calidad de la fabricación de una unidad completa VAV, la cual deberá ser tomada en cuenta.

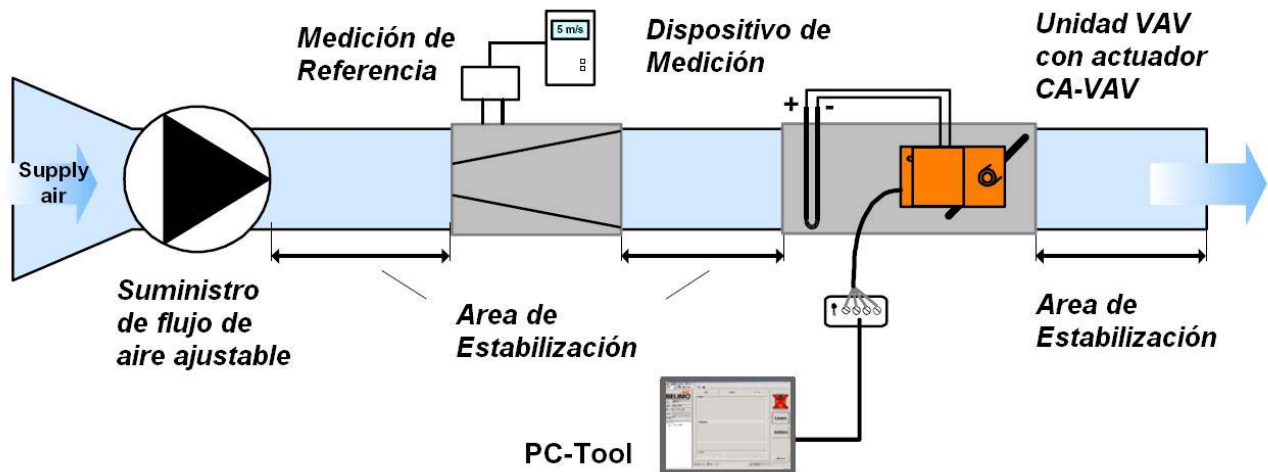


Figura: 5.11 DIAGRAMA A BLOQUES DEL CONTROLADOR – ACTUADOR CA VAV

Se requiere que un rango de flujo de aire infinito sea ajustable y el cual puede, por ejemplo, ser producido por el control realizado por un variador de frecuencia o un equipo “bypass”. Las mediciones del flujo volumétrico de referencia deberán muy precisas, lo cual se efectúa con el sensor de presión diferencial incorporado en el controlador CA-VAV.

5.4.3 METODOS DE CALIBRACION

Existen cuatro métodos de calibración para una caja VAV, tres de ellos son activos y uno es pasivo. La calibración activa precisa de los datos de operación que se adquieren con el paso el aire. La calibración pasiva emplea un valor de calibración determinado por adelantado. Las diferencias entre los métodos son las siguientes.

1) Método Activo

La calibración activa significa que un flujo de volumen de aire de referencia se encuentra pasando a través de la unidad VAV y con ello se construye o conforma la medición para la calibración. Los siguientes factores son compensados para:

- Sensor de presión diferencial (efecto damper, tolerancias y bloqueos)
- Conexiones de sensores(orificios)
- Tolerancias del fabricante de la unidad VAV
- Tolerancias del fabricante del controlador de la caja VAV

Existen tres métodos activos diferentes disponibles de calibración:

- “Auto-calibración”
- “En operación”
- “Pre calentamiento”

“Auto-calibración”

La calibración automática es un método adaptativo en si mismo que emplea un elemento sensor frío. Una interfase con el elemento sensor frío provee el punto de arranque y el procedimiento con una duración de 160 segundos incluye la compensación del sensor con el cálculo automático de la calibración.

El valor obtenido de la calibración y el parámetro de operación se escribe al controlador de la interfase después de transcurrido el periodo arriba descrito.

La salida impresa del controlador crea una etiqueta finalizando el proceso en caso de que la opción de impresión de etiqueta se haya activado.

“En operación”

El método de calibración en operación depende de las condiciones de operación de la interfase, lo cual significa implica que el sensor de la unidad se ha calentado por al menos 15 minutos a partir del inicio de la calibración.

Este método de calibración relativamente largo entrega muy buenos resultados. El valor de calibración muestreado se utiliza para definir los valores de calibración para el método de calibración pasivo el cual se llega a realizar con la ayuda de esta calibración.

“Precalentado”

El método de precalentamiento requiere de una interfase la cual no ha alcanzado su temperatura de operación. La calibración real inicia después de un retardo en fase de 120 segundos.

La característica de “precalentado” puede ser usada para re-calibración en el sitio o bien en el proceso de manufactura. Muchas interfases deben ser puestas a calentar para conectándolas a una fuente de 24Volts. Después de esto se instala en la caja y se lleva a las condiciones de operación combinándose con el flujo de aire, calibrado y ajustado.

5.4.4 METODO PASIVO

En el caso de la calibración por el método pasivo un cálculo previo “valor de calibración” es programado directamente en el controlador. Este tipo de calibración no precisa de un valor de referencia de flujo volumétrico de esta manera los parámetros pueden ser configurados en el controlador desde la cómoda posición de un escritorio.

Las tolerancias de cada unidad VAV debido a factores físicos y mecánicos no se toman en cuenta cuando se emplea la calibración pasiva.

5.5 DESARROLLO DEL PRODUCTO FINAL.

Como desarrollo del producto final se requiere de dos pasos:

- 1) Determinar el valor “K” para el cual deberá ingresarse por medio del programa al controlador-actuador para su adecuada operación y medición del flujo.
- 2) El diseño del termostato con comunicación en BACNet

5.5.1 DETERMINACION DEL VALOR “K”

Para programar el actuador se requiere el Volumen Nominal de Aire y el Valor de Calibración “k”, esto demanda hacer pruebas en sitio durante la instalación de cada proyecto, ya que para cada caja (ducto) el aire se comporta de forma diferente, lo cual es un proceso muy largo y tedioso. Por tal razón, el mejor camino es hacer pruebas de laboratorio para determinar este valor “K”. Es importante una buena calibración en los actuadores del sistema de Volumen de Aire Variable, ya que de lo contrario el actuador estaría tomando datos erróneos y no climatizaría adecuadamente.

Pruebas de laboratorio

Para medir los valores de calibración de las cajas 6, 8, 10, 12, 14 y 16 pulgadas, se consideraron flujos diversos de aire para cada caja, de acuerdo a las limitaciones de cada caja; esto para dar una mayor exactitud en las gráficas; en los Valores de Calibración en donde se tenía alguna duda, o había alguna discordancia con respecto a los demás puntos, se volvían a medir los valores con un flujo similar con el objeto de ser más exactos: en la caja de 6 pulgadas se hicieron 20 pruebas; en la de 8 pulgadas 36 pruebas; en la de 10 pulgadas, 24 pruebas; en la de 12 pulgadas, 44 pruebas; en la de 14 pulgadas 24 pruebas y en la de 16 pulgadas, 20 pruebas

A continuación se muestran las graficas con los resultados de las cajas calibradas: 6” figura 5.12, 8” figura 5.13, 10” figura 5.14, 12” figura 5.15, 14” figura 5.16 y 16” figura 5.17.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Caudal (cfm)	K	K	K	K	Kave
232	1570	1584	1582	1586	1580.5
257	1693	1698	1700	1705	1699
323	2105	2111	2124	2111	2112.75
368	2328	2329	2336	2335	2332
455	2983	2978	2969	2969	2974.75

Con estos datos se obtuvo la siguiente gráfica:

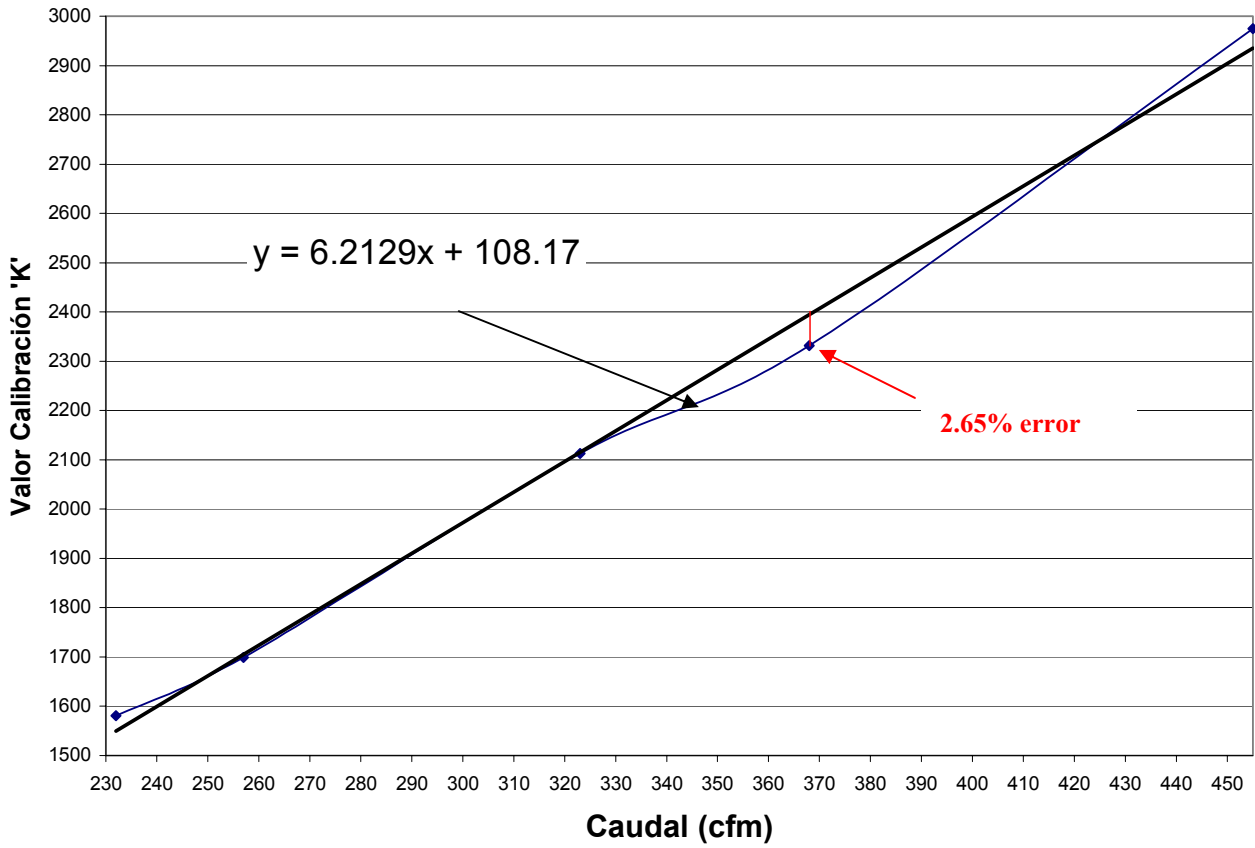


Figura: 5.12 CAJA 6''

Caudal (cfm)	K1	K2	K3	K4	Kave
415	1642	1632	1649	1655	1644.5
460	1700	1699	1702	1707	1702
625	2419	2426	2420	2449	2428.5
805	2925	2930	2927	2939	2930.25
820	3167	3156	3172	3162	3164.25
830	3319	3327	3324	3333	3325.75
880	3422	3412	3412	3419	3416.25
975	3722	3763	3793	3784	3765.5
990	3985	4031	4060	4059	4033.75

Con estos datos se obtuvo la siguiente gráfica:

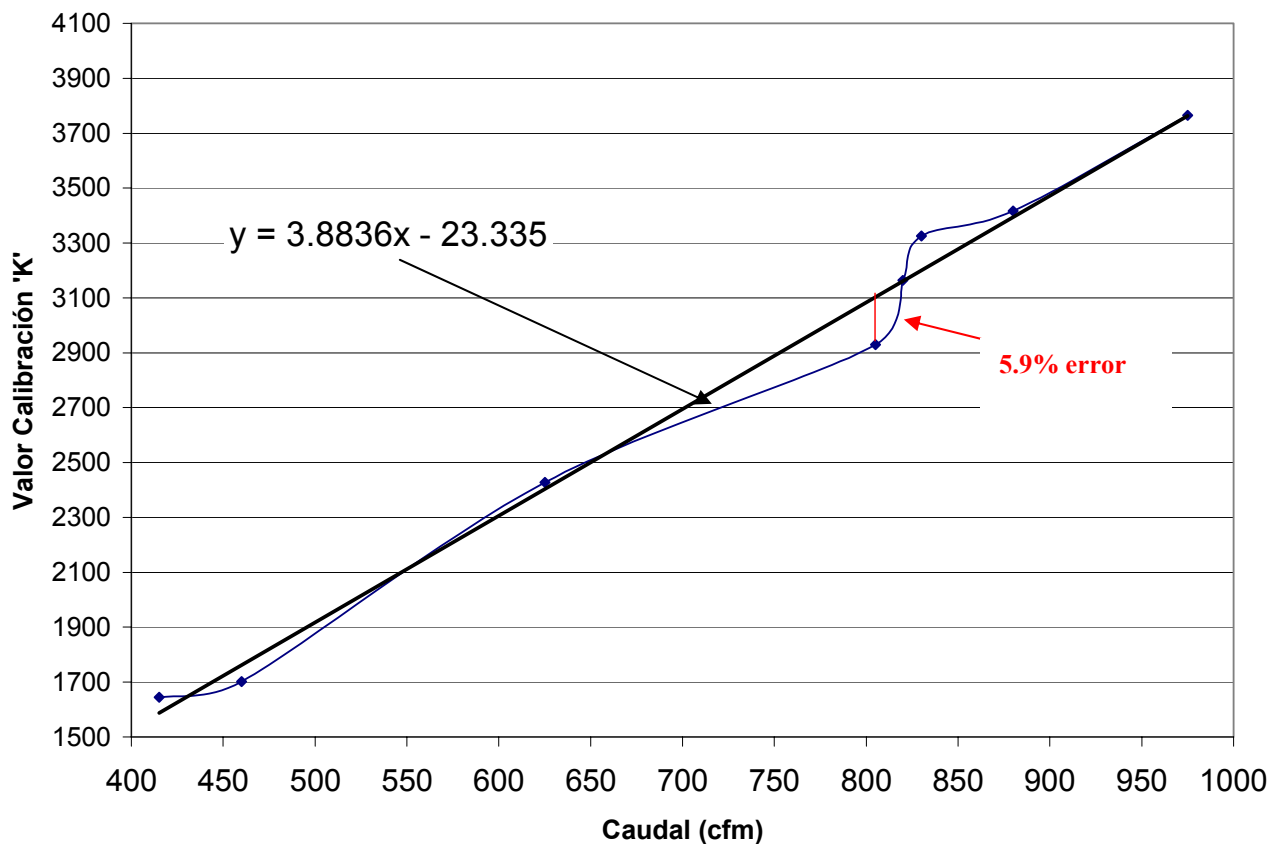


Figura: 5.13 CAJA 8''

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Caudal (cfm)	K1	K2	K3	K4	Kave
660	1523	1527	1521	1525	1524
715	1592	1587	1587	1591	1589.25
935	2105	2125	2122	2111	2115.75
1133	2596	2601	2590	2600	2596.75
1384	3318	3311	3316	3314	3314.75
1650	3963	3936	4001	3979	3969.75

Con estos datos se obtuvo la siguiente gráfica:

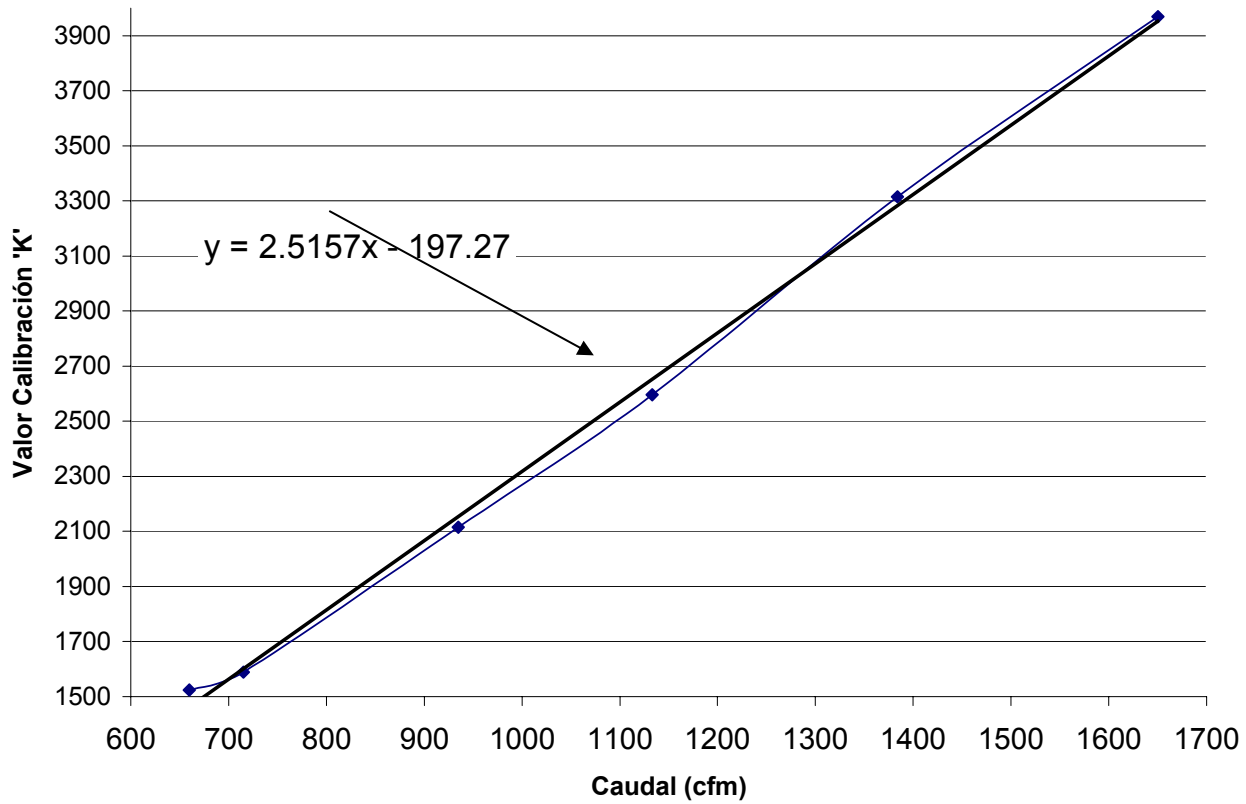


Figura: 5.14 CAJA 10''

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Caudal (cfm)	K	K	K	K	Kave
900	1509	1519	1523	1521	1518
1005	1629	1635	1630	1628	1630.5
1095	1786	1793	1792	1795	1791.5
1175	1831	1845	1845	1850	1842.75
1325	2155	2152	2160	2147	2153.5
1380	2174	2179	2182	2178	2178.25
1535	2522	2529	2529	2529	2527.25
1705	2897	2906	2898	2900	2900.25
1800	3002	3017	3012	3031	3015.5
1950	3300	3291	3291	3297	3294.75
2050	3716	3733	3745	3750	3736

Con estos datos se obtuvo la siguiente gráfica:

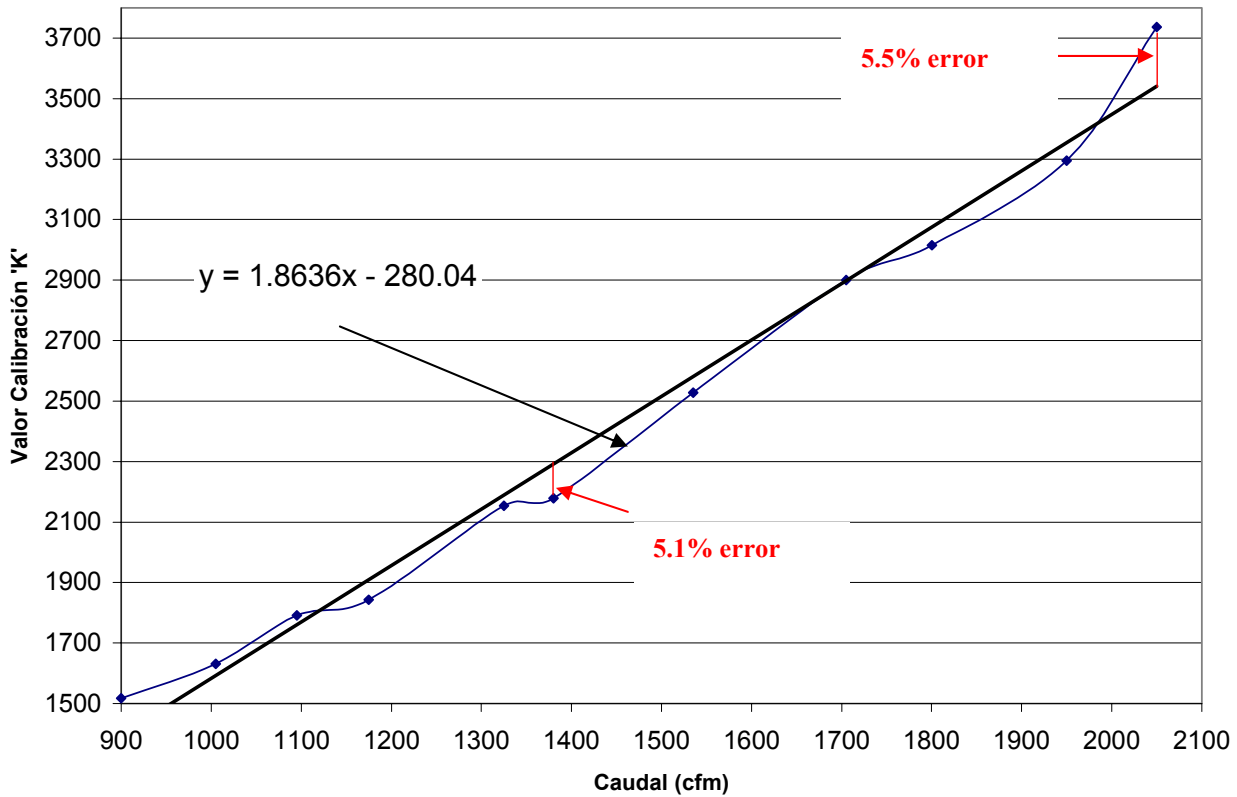


Figura: 5.15 CAJA 12''

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Caudal (cfm)	K	K	K	K	Kave
1460	1603	1606	1612	1616	1609.25
1690	1872	1877	1893	1887	1882.25
1970	2159	2163	2159	2179	2165
2290	2594	2600	2596	2586	2594
2525	2784	2794	2789	2781	2787
3030	3444	3446	3461	3478	3457.25

Con estos datos se obtuvo la siguiente gráfica:

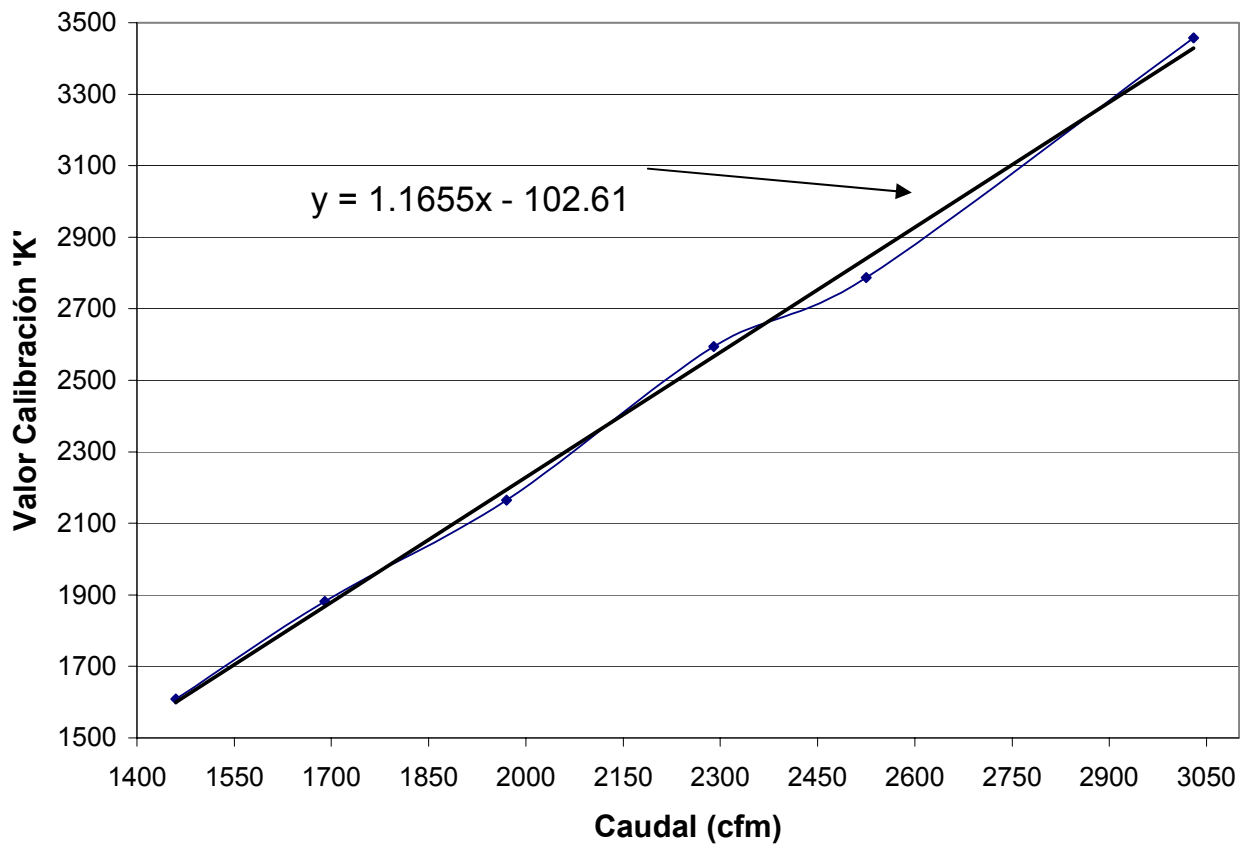


Figura: 5.16 CAJA 14''

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Caudal (cfm)	K	K	K	K	Kave
1650	1568	1563	1571	1567	1567.25
2100	1774	1776	1781	1780	1777.75
2750	2432	2437	2447	2440	2439
3450	2979	2994	2992	2990	2988.75
4100	3717	3752	3753	3745	3741.75

Con estos datos se obtuvo la siguiente gráfica:

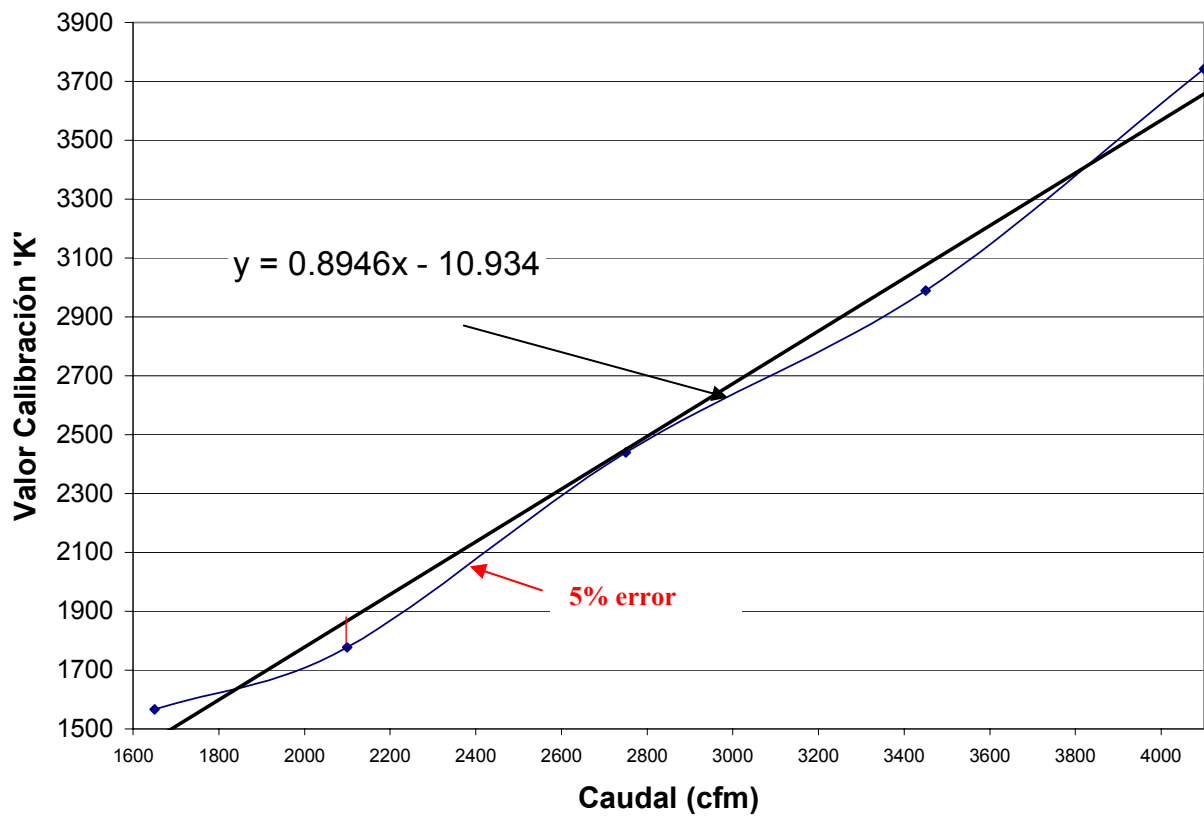


Figura: 5.17 CAJA 16''

Programa

Para cada conjunto de cuatro valores de calibración a un mismo flujo, se obtuvo un promedio, el cual se introdujo en Excel con el objeto de hacer una regresión lineal, figura 5.18, con la fórmula que se obtuvo se generó un programa, en el que solamente introduciendo el tamaño de la caja y el flujo al que va a estar trabajando, entrega directamente el valor de calibración buscado.

Se ingresa el tamaño de la caja en pulgadas

Para obtener el valor de Calibración "K" ingrese:

1. El Tamaño de la Caja en pulgadas
2. El Volumen Nominal en pies cúbicos por minuto

Tamaño Caja	8	in
Volumen Nominal	805	cfm
K=	3102.963	

Se ingresa el Volumen Nominal (caudal) en pies cúbicos por minuto

Valor de Calibración "K"

ERROR 1: Volumen mínimo fuera de rango
ERROR 2: Volumen máximo fuera de rango
ERROR 3: Tamaño de Caja Incorrecto

En caso de haber introducido un valor fuera de rango o una caja inexistente, el programa indica el tipo de error

Figura: 5.18 PROGRAMA K6

Además de mostrar el resultado numérico, el programa grafica el resultado (intersección de las líneas rojas); éste cae sobre la línea recta, la cual es la regresión lineal obtenida con los datos registrados en los experimentos. La línea más gruesa representa los datos obtenidos experimentalmente. Gracias a esto es posible observar el pequeño error (menos de 6%) que existe entre la línea de regresión y la línea "real".

Al ingresar otros datos; tanto el valor k, como la gráfica; son recalculados automáticamente. Figura 5.19

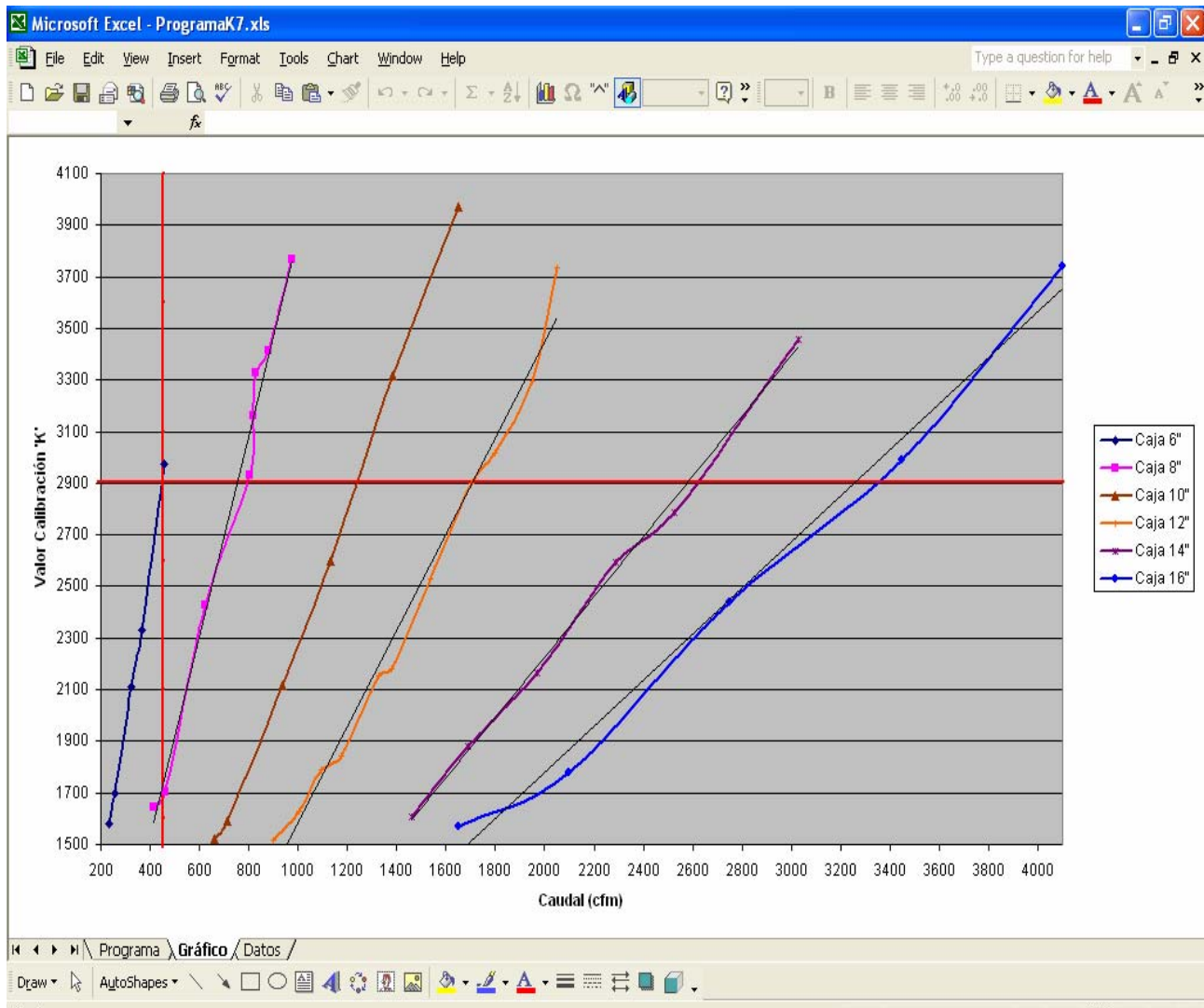


Figura: 5.19 GRAFICA DEL PROGRAMA K7.XLS

5.5.2 DESARROLLO DEL TERMOSTATO PARA EL CONTROLADOR CA-VAV CON PROTOCOLO BACNet

Como mencionamos anteriormente, el actuador-controlador para cajas VAV (CA-VAV), el cual tiene un protocolo de comunicación propietario, requiere de un termostato que lo controle y además proporcione dos funciones primordiales para la operación del sistema: En primer lugar, este termostato deberá ser una interfaz para el usuario y así este pueda configurar los parámetros del CA-VAV y además deberá proporcionar un puerto de comunicación en BACNet para establecer una red de cajas VAV.

CARACTERISTICAS

En primer lugar, se ha analizado la información de diseño del CA-VAV, con la cual se analizó el hardware y el mapa de puntos requeridos. También se analizó las posibles aplicaciones de VAV lo cual nos enfoca al diseño de 2 modelos de termostatos. Las aplicaciones serán las siguientes:

1. Caja VAV solo enfriamiento
2. Caja VAV con enfriamiento con una etapa de recalentamiento eléctrico
3. Caja VAV solo enfriamiento con dos o tres etapas de recalentamiento eléctrico
4. Caja VAV solo enfriamiento con válvula on-off de agua caliente para recalentamiento
5. Caja VAV solo enfriamiento con válvula proporcional de agua caliente para recalentamiento
6. Caja VAV solo enfriamiento con ventilador tipo serie
7. Caja VAV solo enfriamiento con ventilador tipo paralelo

En relación al hardware se requiere que el termostato cuente con las siguientes características:

- Alimentación a 24 VAC
- Entrada para comunicación entre el termostato y el controlador
- Salida proporcional para enfriamiento
- Entrada para sensor externo para cambio de modo automático
- Salida digital para recalentamiento de una etapa o proporcional con convertidor analógico/digital para tener hasta 3 etapas de recalentamiento
- Puerto de comunicación BACNet

En base a los requerimientos anteriores, se diseña el termostato con las siguientes terminales:

- ♦ 8 terminales:
 - R = Línea
 - C = Común
 - Upp = Comunicación al actuador
 - YZ = Salida proporcional para enfriamiento (0-10 v)
 - 0 = Sensor externo para cambio de modo automático
 - T = Sensor externo para cambio de modo automático
 - B = comunicación BACNet
 - A = comunicación BACNet

Además, para tener acceso desde una computadora portátil se pone un conector tipo RJ11 para comunicación RS-232 con el protocolo propietario:

- ♦ Jack telefónico con 6 cables

Cuando el termostato es conectado a la red con el protocolo BACNet, este debe tener una dirección única dentro de ella, con la cual este termostato y controlador-actuador sean identificados. Dicha dirección se configurará por medio de dip switches, como se indica a continuación:

- ♦ Dip switches:
 - DIP SWITCH 1 = Para las direcciones de comunicación
 - DIP SWITCH 2 = Para configurar Sensor interno/externo

Diagrama eléctrico

En las siguientes figuras se muestra el diagrama esquemático de conexión para los diferentes tipos de caja VAV

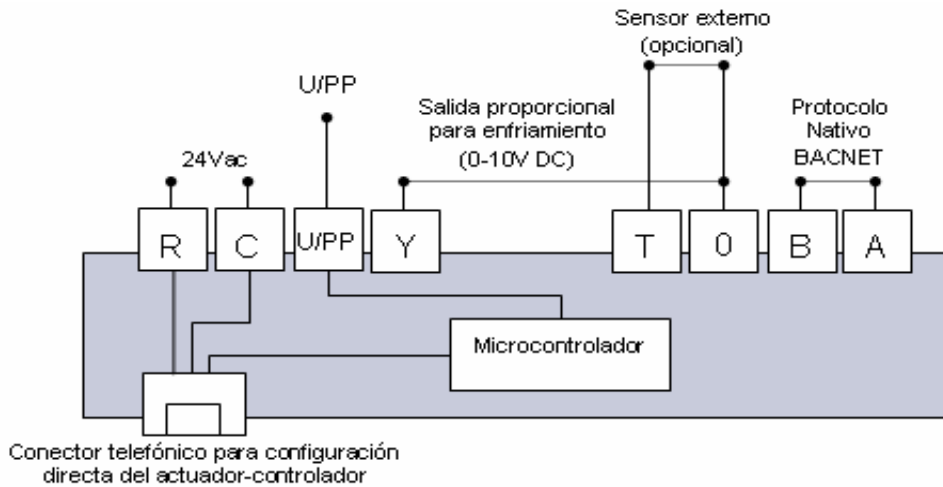
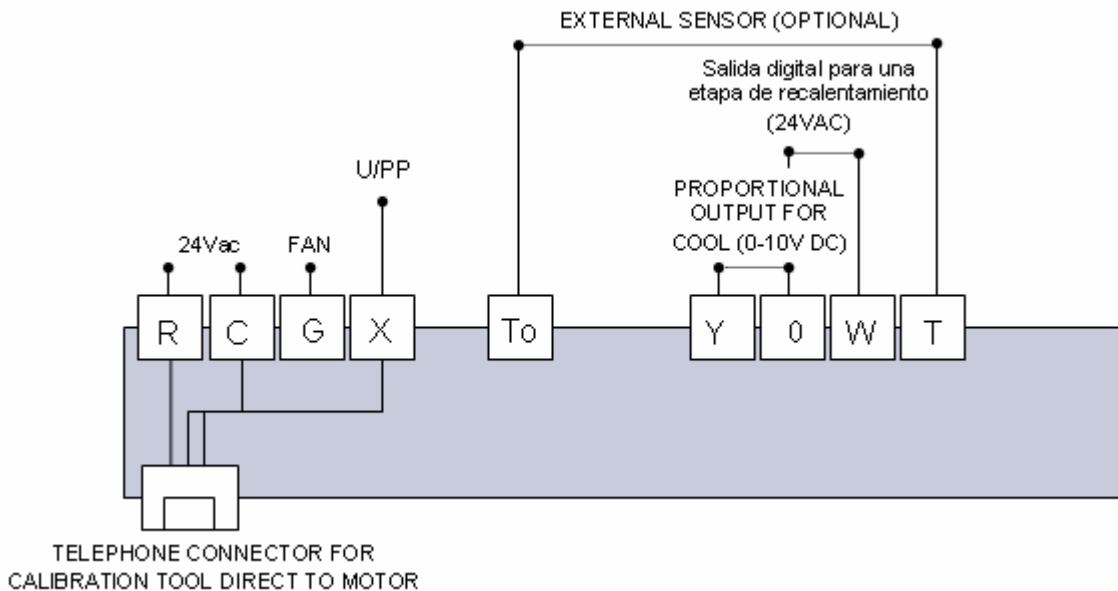


Figura: 5.20 TERMOSTATO PARA CAJAS VAV SOLO ENFRIAMIENTO O CALEFACCION



**Figura: 5.21 TERMOSTATO PARA CAJAS VAV SOLO ENFRIAMIENTO Y RECALENTAMIENTO ON-OFF
NOTA SENAL DE SALIDA PARA ENFRIAMIENTO ON - OFF**

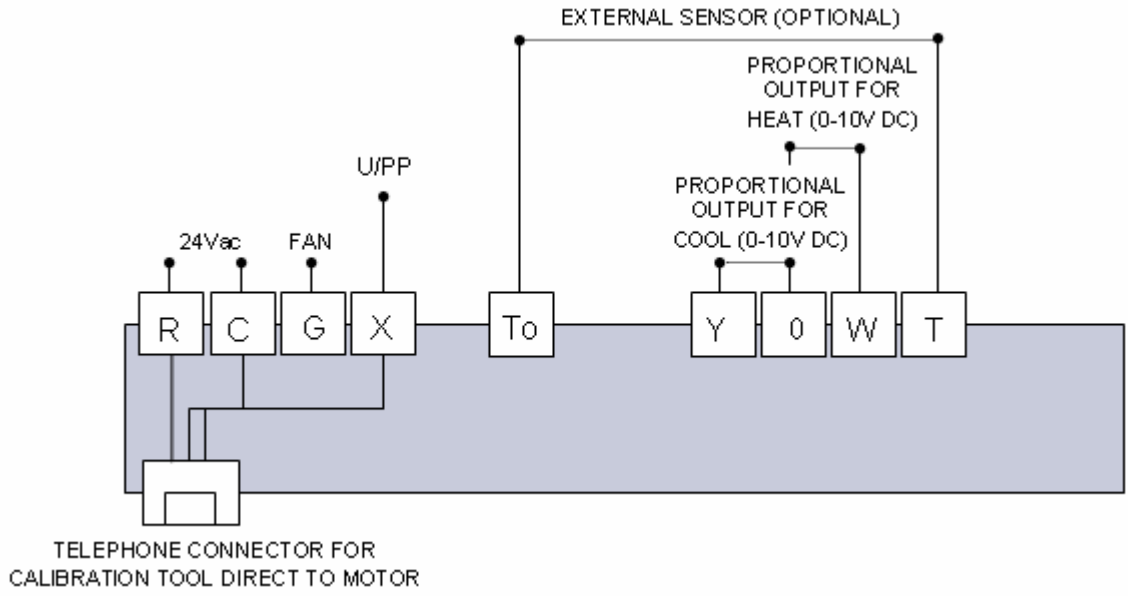


Figura: 5.22 TERMOSTATO PARA CAJAS VAV SOLO ENFRIAMIENTO Y RECALENTAMIENTO PROPORCIONAL

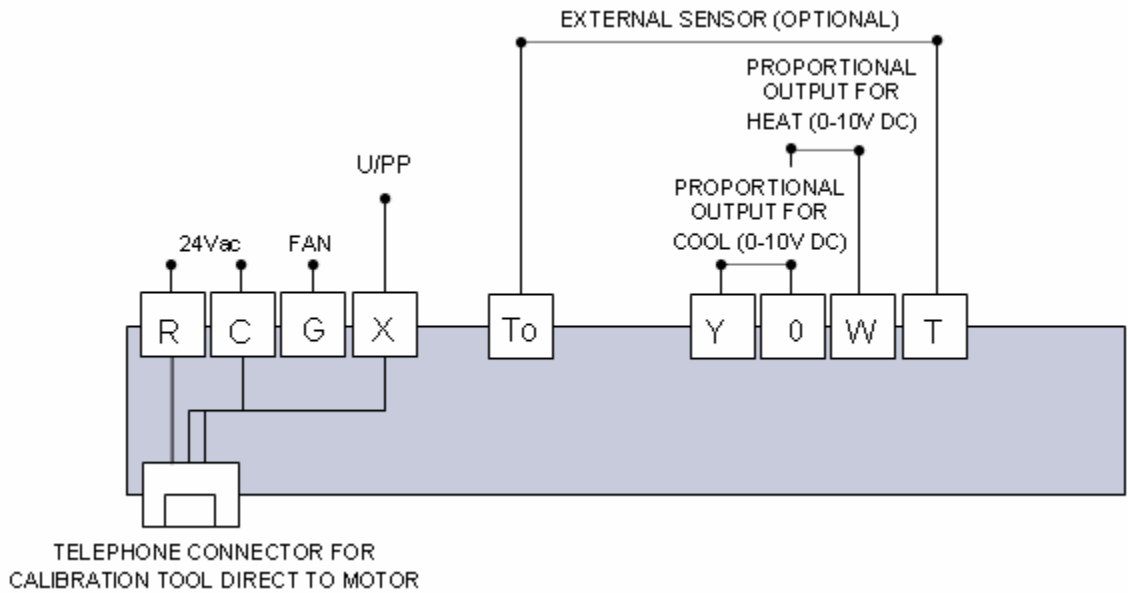


Figura: 5.23 TERMOSTATO PARA CAJAS VAV SOLO ENFRIAMIENTO Y 2 ó 3 ETAPAS DE RECALENTAMIENTO

5.6 PRODUCTO FINAL

A continuación se presenta el manual de instalación, el manual de operación y la lista de objetos, debido a que este producto será comercializado con equipo de importación las descripciones se muestran en inglés.

5.6.1 ESPECIFICACIONES

Dimensiones del termostato

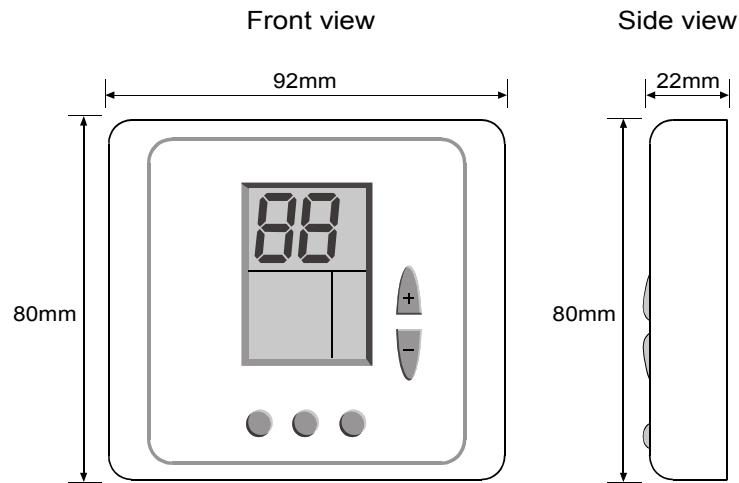
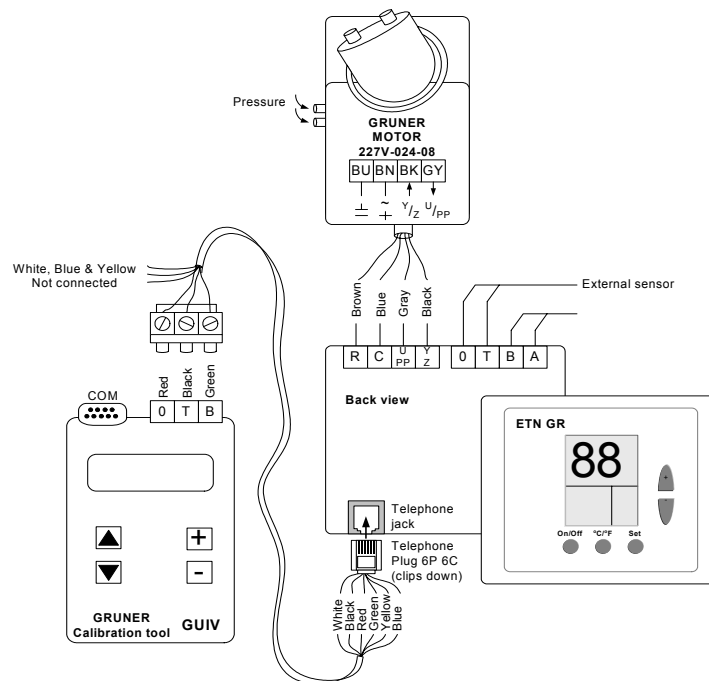


Diagrama de conexión



Especificaciones técnicas y físicas

Rango de Temperatura:	10°C - 35°C / 50°F - 90°F
Peso	0.125 Kg / 0.3 Lbs
Escala	°C / °F
Color	Blanco
Presición	±1°C / ±1.5°F
Plastic Cover	PC/ABS
Flamabilidad	UL94V-0
Entrada de Temperatura	Termistor 50K@25°C / 77°F

5.6.2 MANUAL DE OPERACION

- BOTON ON/OFF – Habilitación y deshabilitación del dispositivo
- BOTONES (+) (-) Ajuste de Temperatura
- DAY, HOUR, MINUTES
 - (Presione el botón “ON”, parpadeará “hours”, ajuste la hora con los botones (+) y (-))
 - (Presione nuevamente “ON”, parpadeará “minutes”, ajuste los minutos con (+) y (-))
 - (Presione nuevamente “ON”, parpadeará “day”, ajuste el día minutos con los botones (+) y (-))
- Con los botones °C & °F, cambia la escala de temperatura
- Para introducir la programación presione el botón °C/°F por 5 segundos, aparecerá en el display la opción a programar, utilice los botones (+) y (-) para ajustar, el botón °C/°F para grabar la información y esperar 1 minuto para salir:
 - SPL – Ajuste de límites de setpoint
 - DB – Ajuste la banda muerta
 - USP – Ajuste el Setpoint de desocupado
 - OFFS - Ajuste el error (Offset) de temperatura
 - AF – Ajuste la escala de flujo de Aire (CFM's, M3HR o LSEC)
 - NAF – Ajuste el flujo de aire nominal
 - MAX – Ajuste el flujo de aire máximo
 - MIN – Ajuste el flujo de aire mínimo
 - FLOFF – Ajuste el error (offset) del flujo de aire

5.6.3 LISTA DE OBJETOS

Lista de Objetos

N	Default	Object	Value	Description
1	Option	Analog Input # 0		T1 Ambient
2		Analog Input # 1	0%...100%	Proportional Value
3		Analog Input # 2		Cuide Value (Vnenu)
4		Analog Input # 3		Max Flow (Vmax)
		Analog Input # 4		Min Flow (Vmin)
		Analog Input # 5		Control signal (V const)
		Analog Input # 6		Actual Flow
5	22 °C	Analog_Value # 0	10 °C ...30 °C	Tset (50-86 F)
6	Cool	Analog_Value # 1	Mode	Cool
7	Low	Analog_Value # 2	Fan	Not Used
8	0.5°C	Analog_Value # 3	0.5°...5.0 °C	Dead_Zone Cool
9	0.5°C	Analog_Value # 4	0.5 5.0 °C	Dead_Zone Heat
10	0.0°C	Analog_Value # 5	-6.0 ... 6.0 °C	Offset T1 Ambient
11	2.0°C	Analog_Value # 6	2.0 ... 10.0 °C	Differential COOL
		Analog_Value # 7		Differential HEAT
12	Option	Analog_Value # 8	10 °C ...30 °C	Tset Heat (Not Used)
13	Option	Analog_Value # 9	10 °C ...30 °C	Limit Cool (Not Used)
14	Option	Analog_Value # 10	10 °C ...30 °C	Limit Heat (Not Used)
16		Analog_Value # 11		Econom Cool
17		Analog_Value # 12		Econom Heat
18		Analog_Value # 13		Nominal Flow
19		Analog_Value # 14		Desing Flow
20		Analog_Value # 15		Cool Flow Low
21		Analog_Value # 16		Cool Flow High
22		Analog_Value # 17		Heat Flow Low
23		Analog_Value # 18		Heat Flow High
24		Analog_Value # 19		Offset Flow Low
25	Off	Binary Output #0	On/Off	Termostat On/Off
26	Off	Binary Output #1	On/Off	Celsius ON
27		Binary Input #0	On/Off	Cooling

5.7 CONCLUSIONES

Al haber analizado que existe demanda de este producto y que para el fabricante es un área de oportunidad para penetrar en un mercado en el cual no ha incursionado haría incrementar sus ventas y no solo poder vender este desarrollo sino también el vender como complemento su demás línea de productos, esto es, sería un incremento en ventas pero la llave para abrir la entrada de sus demás productos que van relacionado con el control de flujos en sistemas de aire acondicionado.

Además, este producto brinda la oportunidad para hacer una integración de cajas VAV a un precio competitivo con la versatilidad de integrarse a cualquier otro dispositivo en la plataforma BACNet, lo cual es ofrecer un protocolo abierto, capaz de integrarse con cualquier marca de control, y ofrecer al usuario final la posibilidad de no depender de un solo fabricante.

Otra ventaja es su facilidad de programación permite hacer el - comissioning –configuración en campo-sumamente rápido, característica que nos da la tecnología del termostato propuesto, lo cual brinda a las empresas integradoras tener costos mas competitivos para el arranque de estos sistemas y finalmente este termostato permitirá posicionar a la compañía en un nivel de integración a bajo costo contra sus competidores lo que representara mayores ventas y posibilidades de integración de sus productos VAV existentes en el mercado.

El desarrollo de este producto llevo el esfuerzo de mas de un año de pruebas agradecemos a todas las entidades y personas que colaboraron para este prototipo.

GLOSARIO

Acción Correctiva.- Es la acción de control que resulta a una cambio de la variable manipulada. Dicha acción es iniciada cuando la variable controlada es derivada del setpoint.

Agente de Control.- Es el medio en el cual la variable manipulada existe. En un sistema de calefacción por vapor, el agente de control es el vapor y la variable manipulada es el flujo del vapor.

Algoritmo.- Es un método de cálculo que produce una salida de control mediante la operación de una señal de error a través del tiempo.

Analógica.- Señal de control que puede tomar cualquier valor y que es continuamente variable. (por ejemplo, una llave controlando flujo de agua desde completamente cerrada hasta completamente abierta).

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Asociación Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.

BACNet – Building Automation and Control Networking Protocol, Protocolo de comunicación abierto para el Control y Automatización de Edificios desarrollado por ASHRAE (La Asociación Americana de Ingenieros en Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado – American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) el cual permite la integración de todo tipo de controladores digitales en un sistema unificado.

Banda de Energía Cero.- Es una técnica de conservación de la energía que permite que un punto de control fluctúe entre los parámetros seleccionados, y de este modo evitar el consumo de energía. Por ejemplo, la temperatura de espacio se encuentra dentro de los límites predeterminados por su punto de ajuste (setpoint) y permanece dentro de éstos sin operar la calefacción y refrigeración mientras se encuentre en éste rango, previniendo el consumo de energía.

Banda Muerta.- Es un rango de la variable controlada en el cual no es tomada ninguna acción correctiva por el sistema controlado y no hay consumo de energía. Ver también banda de energía cero.

Cajas VAV – Compuertas de Volumen de Aire Variable que regulan el flujo de aire mediante un dispositivo electrónico denominado actuador.

CELdek® – Panel empleado en los equipos evaporativos fabricados de un papel especial de celulosa impregnado con sales no solubles antipodredumbre y con saturantes endurecedores.

Chiller – Enfriador de Agua.

Compensación de Control.- Es un proceso de ajuste automático del punto de control de un controlador dado para compensar los cambios de una segunda variable medida (por ejemplo, temperatura de aire exterior). El punto de control del serpentín de agua caliente es normalmente reestablecido en forma ascendente conforme la temperatura de aire exterior desciende. Al punto de compensación de control es llamado “reset de control”.

Controlador.- Es un dispositivo que sensa los cambios en la variable controlada (o recibe la señal de entrada desde un sensor remoto) y deriva la propia corrección a la señal de salida.

Control basado en microprocesador.- Es un circuito de control que opera a bajo voltaje y emplea un microprocesador para desarrollar las funciones lógicas y de control, tales como la activación de un relevador o proporcionar una señal de salida para posicionar un actuador.

Control Digital Directo.- Los sistemas de Control Digital Directo (DDC) son aquellos que son basados en microprocesador, manejan la información de manera digital y tiene la capacidad de comunicarse con otros controladores del mismo tipo y ser monitoreados por computadora.

Control electrónico.- Es un circuito de control que opera en línea o a bajo voltaje y emplea partes mecánicas, como un sensor de temperatura bimetálico, para desarrollar funciones de control, o como la activación de un interruptor o la manipulación de un potenciómetro.

Desviación.- Es la diferencia entre el punto de ajuste (setpoint) y el valor de la variable controlada en cualquier momento. A la desviación también se le conoce como "offset".

DDC – Direct Digital Control, Control Digital Directo.

Dew Point – Punto de Rocío.

Digital.- Es una serie de pulsos que conllevan información. La clave Morse es un ejemplo muy antiguo. Los procesadores (computadoras) operan empleando lenguaje digital.

Elemento Final de Control.- Es un dispositivo, como una válvula o compuerta que actúa a los cambios del valor de la variable manipulada.

Elemento Sensor.- Un dispositivo o componente que mide el valor de una variable.

Entrada Analógica (AI, Analogic Input).- Es una señal de entrada que varía en una magnitud con la cantidad a ser sensada (por ejemplo, temperatura, presión estática, humedad relativa, presión diferencial, velocidad, presión de vapor, corriente, etc.).

Entrada Digital o Discreta (DI, Digital Input).- Una señal de entrada que indica el estado de Encendido/Apagado del dispositivo que se está sensando (por ejemplo, estado del motor mediante un interruptor de presión estática, el estado de una bomba mediante un sensor de amperaje digital, consumo de demanda por pulsos, etc.).

Expansión Directa – Sistema de enfriamiento empleado por los equipos de aire acondicionado basado en refrigerante.

GLASdek® – Panel empleado en los equipos evaporativos fabricados con fibras de vidrio grandes impregnadas con saturantes endurecedores no solubles.

HVAC – Heating, Ventilating and Air Conditioning, Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado.

HR – Humedad Relativa, medida en porcentaje (%)

Medio Controlado.- Es el medio en el cual la variable controlada existe. En un sistema de control de temperatura de espacio, la variable controlada es la temperatura de espacio y el medio controlado es el aire dentro del espacio.

Sistema de Control Automático.- Es un sistema que actúa ante un cambio en la variable a controlar, ajustando otras variables para llevar a cabo el balance deseado.

PTAC's – Packaged Terminal Air Conditioners, Aires Acondicionados de Paquete Terminal. Equipo de Aire acondicionado de expansión directa empleado para enfriar y/o calentar espacios individuales.

Proceso.- Es un término general que describe un cambio en la variable medida (por ejemplo, la mezcla de aire de retorno con aire exterior en un lazo de control para mezcla de aire y la transferencia de calor entre agua

helada y aire caliente en un serpentín de agua helada). Usualmente es considerado como el elemento sensor, el elemento de control y el controlador.

Psicrometría – Estudia las propiedades termodinámicas de la mezcla aire con agua.

Pseudo Puntos.- Puntos que existen dentro del algoritmo de Control y no son físicamente visibles (por ejemplo, el Setpoint o un valor que puede ser usado por el algoritmo de control).

Punto de Ajuste (Setpoint).- Es el valor en la escala del controlador al cual dicho controlador es predeterminado (por ejemplo, la temperatura de cuarto fijada en un termostato). Es el punto de control deseado.

Punto de Control.- Es el valor actual de una variable controlada (setpoint mas o menos el offset).

Punto de Rocío – Es la temperatura del aire húmedo saturado a la misma presión y humedad específica que la mezcla dada.

Punto de Saturación – Ver Punto de Rocío

Puntos Físicos.- Los puntos físicos de un Sistema de Control son dispositivos externos conectados a un equipo o controlador que pueden ser de tipo analógico o digital.

Refrigerante – Fluido utilizado en la transmisión de calor que, en un sistema frigorífico o de aire acondicionado, absorbe calor a bajas temperaturas y presión, cediéndolo a temperatura y presión mas elevadas. Este proceso tiene lugar, generalmente, con cambios de estado del fluido.

Salida Analógica (AO, Analogic Output).- Una señal de salida que varía en una magnitud con la cantidad de cambio requerido por el dispositivo de control (por ejemplo, el control de una Compuerta, el control de la válvula, etc.).

Salida Digital o Discreta (DO, Digital Output).- Una señal de salida que provee un comando de Arranque/Paro al dispositivo a ser controlado (por ejemplo, una señal de Arranque y paro, control de iluminación, una válvula solenoide, etc.).

Serpentín – Conjunto de tuberías en el cual se hace pasar por su interior un fluido el cual puede ser agua o gas refrigerante a baja temperatura y por la parte exterior se hace pasar aire con el fin de quitarle calor al mismo y lograr enfriarlo.

Setpoint – Vease punto de ajuste.

Stand-Alone – Modo independiente. Término en inglés adoptado en el medio del control para indicar que un dispositivo controlador operará de manera independiente sin ser parte de una red de comunicación en un sistema de control.

Variable Analógica.- Es un parámetro representado por una cantidad o valor (por ejemplo, temperatura, presión, tiempo, frecuencia, etc.)

Variable Controlada.- Es la cantidad o condición que es medida y controlada.

Variable Digital.- Es un parámetro representado por una condición de dos posiciones (por ejemplo: Arranque-Paro, Habilitado-Deshabilitado, Alarma-Normal, etc.)

Variable Manipulada.- Es la cantidad o condición regulada por el sistema de control automático para provocar el cambio deseado en la variable controlada.

Variable Medida.- Es una variable que es medida y puede ser controlada (por ejemplo, el aire de descarga es medido y controlado, el aire exterior es solamente medido).

BIBLIOGRAFIA

ABC's of comfort , Technical Development Program, Carrier Corporation 2004.

Linea del tiempo de los eventos del aire acondicionado

<http://www.ari.org/consumer/history/timeline.html>

Fundamental Series Item : Choosing the Best HVAC System

HPAC Heating Piping Air Conditioning magazine, DDC controls, Fundamentals of Digital Direct Controls, By ALEX J. ZIMMERMAN, AScT, Energy Projects Manager, Technical Value Dept., British Columbia Buildings Corp., Victoria, B.C., Canada

El Libro de Oro del Aire Acondicionado, Carrier Corporation, 2001

Fundamentals, 2001 ASHRAE Handbook

HVAC Applications, 1999 ASHRAE Handbook.

Choosing the Best HVAC System

http://www.energyusernews.com/CDA/Article_Information/Fundamentals_Item/0,2637,1...

Concepts of Air Conditioning, Technical Development Program, Carrier Corporation 2004.

ASHRAE Journal, The evolution of modern office buildings and air conditioning, by David Arnold, F. R. Engineer Member ASHRAE, 1999.

ASHRAE Journal, Selecting the right HVAC System, by David M. Elovitz, fellow ASHRAE, 2002.

Maximizing HVAC Systems Comfort Systems Choices, by Mike Weise Government Affairs The Trane Company, 2003 National Association of State Energy Officials Conference

Control System Society of IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.)

<http://www.ieeecss.org>

Understanding Building Automation Systems, Reinhold A. Carlson y Robert A. Di Giandomenico Publicado por: R.S. Means Company, Inc. 1991

Heating and Cooling of Buildings, Jan F. Kreider y Ari Rabl Publicado por: McGraw-Hill, Inc. 1994

HVAC Controls: Operation & Maintenance, Guy W. Gupton, Jr. Publicado por: The Faimont Press, Inc., 1996

Fundamentals of HVAC Systems

Publicado por: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. , 2005

“The Thigs We Do” página web de Gary Cziko, Universidad de Illinois

<http://faculty.ed.uiuc.edu/g-cziko>

History of Control, Griffith University, Australia

<http://www.griffith.edu.au>

Sistemas modernos de Control Teoria y Práctica, segunda edición, Richard Dorf, Addison Wesley Iberoamericana 1989.

DDC online Iowa Energy Center. http://www.ddc-online.org/intro/intro_chapt03.aspx

Building Operating Management Proprietary or Open Real Question is, ‘What’s in it for Me’ -.htm

Building Operating Management With systems integration, words can get in the way -.htm

Engineering Systems Magazine article Features Item Commercial Building Controls Barriers & Opportunities.htm

IntroducciIn a la tecnología Networks, Asociacion Lon Users España, Cristhian Calafat - Secretario LonUsers@ España. Web: <http://www.lonusers-es.com>

Quien es Lonmark. <http://www.lonmark.org/about/about.htm>

Networked Controls Magazine. Controls Network and Interoperability by Michael Newmann

Manager Utilities computer section, Cornell University.

ASHRAE Journal, Direct Digital Controls Systems, Specifying Interoperability by Paul Ehrelich PE, Associate member ASHRAE and Offer Pittel, P Eng. Member ASHRAE, April 1999.

HPAC Heating Piping Air Conditioning magazine Open, Interoperable Systems for Energy Control By Michael R. Tennefoss Vice President of Product Marketing and Customer Services Echelon Corp.

TAC-AMERICAS White paper, Open Systems: LONWORKS® Technology and BACnet® Standard By Frank Capuano. 2001. www.tac-americas.com

Consulting and Specifying Engineer magazine, Keeping Up With the Protocols, Earl Gray, MCSE., 2/1/01. <http://www.arassystems.com/Article%20ARAS%20Keeping%20up%20with%20protocol>.

ASHRAE STANDARD BACNET a Data Communication Protocol for Building Automation and Control Networks. 2001. Approved by the ASHRAE Standards Committee June 23, 2001.