



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

*APLICACIÓN DEL AIRE
ACONDICIONADO EN EL CONTROL
AMBIENTAL DE LOS CUARTOS DE
CONTROL INDUSTRIALES*

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA

P R E S E N T A:

JOSUÉ ARIEL GORDILLO CASTILLO

JUAN FERREIRA GUTIÉRREZ

ASESOR: ING. JUAN DE LA CRUZ HERNÁNDEZ ZAMUDIO



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

C. N. A. N.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DEPARTAMENTO DE
EXÁMENES PROFESIONALES

**DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
P R E S E N T E**

ATN: L. A. Araceli Herrera Hernández
Jefa del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el Artículo 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

Aplicación del Aire Acondicionado en el Control Ambiental de los Cuartos
de Control Industriales.

que presenta el pasante: Josué Ariel Gordillo Castillo
con número de cuenta: 09811537-0 para obtener el título de:

Ingeniero Mecánico Eléctricista.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Estado de México a 26 de mayo de 2008

PRESIDENTE	<u>Ing. Juan Rafael Garibay Bermúdez</u>
VOCAL	<u>Ing. Juan de la Cruz Hernández Zamudio</u>
SECRETARIO	<u>M.I. José Juan Contreras Espinosa</u>
PRIMER SUPLENTE	<u>M.E.M. Juan Alfonso Oaxaca Luna</u>
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Dr. Victor Hugo Hernández Gómez</u>



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
 P R E S E N T E

ATN: L. A. Araceli Herrera Hernández
 Jefa del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán



Con base en el Artículo 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

Aplicación del Aire Acondicionado en el Control Ambiental de los Cuartos
de Control Industriales.

que presenta el pasante: Juan Ferreira Gutiérrez
 con número de cuenta: 40300555-6 para obtener el título de:

Ingeniero Mecánico Eléctricista.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E
 "POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Estado de México a 26 de mayo de 2008

PRESIDENTE	<u>Ing. Juan Rafael Garibay Bermúdez</u>
VOCAL	<u>Ing. Juan de la Cruz Hernández Zamudio</u>
SECRETARIO	<u>M.I. José Juan Contreras Espinosa</u>
PRIMER SUPLENTE	<u>M.E.M. Juan Alfonso Oaxaca Luna</u>
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Dr. Victor Hugo Hernández Gómez</u>

A MIS PADRES:

PORQUE ELLOS FUERON LA COLUMNA VERTEBRAL Y LA BASE
FUNDAMENTAL DE MI FUERZA Y ASI GENERAR UNA DE LAS METAS
MÁS IMPORTANTES DE MI VIDA.

ADEMAS ESTUVIERON CONMIGO EN LA BUENAS Y LAS MALAS
TODOS LOS DIAS QUE ESTUVE EN LA UNIVERSIDAD.

EN GENERAL:

A TODAS LAS PERSONAS QUE ME IMPULSARON PARA
SEGUIR ADELANTE Y ASI OBTENER
UNA EXCELENTE FORMACION PROFESIONAL.

INCLUSIVE DE ELLOS ME VOY A LLEVAR UN BONITO
RECUERDO MUTUO QUE SIEMPRE LLEVARE PRESENTE.

AGRADECIMIENTO:

AL M. EN C. ARQUIMEDEZ SOLIS TELLEZ:

POR SUS BUENOS CONSEJOS Y SU GENEROSA AMISTAD
QUE NOS BRINDO DENTRO DEL I.M.P.

AL ING. JUAN DE LA CRUZ HERNANDEZ ZAMUDIO:

PORQUE NOS ENCAMINO POR LA SENDA DEL CONOCIMIENTO
Y QUE GRACIAS A EL FUE POSIBLE REALIZAR ESTA TESIS.

JOSUÉ ARIEL GORDILLO

Dedicatorias

(Juan)

A mis Papàs

Por el apoyo que me brindaron día con día a lo largo de toda mi formación académica, por que siempre han estado conmigo en las buenas y en las malas y gracias por sus consejos que hasta hoy me dan.

A mis hermanos

Que siempre me han motivado, para que siga adelante porque su compañía es un ejemplo de lucha, de que si se puede lograr lo que uno quiere en la vida.

A mi novia y familia

Gracias por el apoyo, amor y confianza que han tenido en mí, gracias por sus consejos que me han dado y sobre todo, esos bonitos momentos que he pasado con ustedes.

A mis amigos

A todos mis amigos y compañeros que han estado conmigo y que de una forma u otra me han ayudado a seguir adelante.

Agradecimientos
(Juan)

A Dios

Por haberme dado la oportunidad de llegar hasta este momento.

Al Ing. Juan de la Cruz Hernández Zamudio

Por su valiosa colaboración en la dirección del presente trabajo y sus importantes comentarios

Al Ing. Arquímedes Solís Tellez

Por su amistad apoyo y comprensión en la dirección del presente trabajo y mi estancia durante el IMP

A los integrantes de la comisión revisora:

Ing. Juan Rafael Garibay Bermúdez
Ing. Juan de la Cruz Hernández Zamudio
M.I. José Juan Contreras Espinosa
M.E.M Juan Alfonso Oaxaca Luna
Dr. Víctor Hugo Hernández Gómez

A la Universidad Autónoma de México

Por haberme permitido pasar por sus aulas en mi preparación profesional

Gracias.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1.- Principios básicos del aire acondicionado	2
1.1- Breve historia del Aire Acondicionado	3
1.2- Teoría de la transferencia de calor	6
1.3- Psicrometría	11
1.4- Tipos de Sistemas de Aire Acondicionado	15
1.5- Balance Térmico	21
CAPITULO 2.- Criterios para la Selección de Equipo	24
2.1- Selección del sistema de Enfriamiento	25
2.2- Unidad Manejadora de Aire	27
2.3- Unidad Paquete Integral	30
2.4- Unidad Condensadora	33
2.5- Unidad Enfriadora de agua	35
CAPITULO 3.- Norma para el Control Ambiental	39
3.1- la norma ISA-S71.04-1985	40
3.2- Características de los Gases Corrosivos	50
3.3- Medición de la Corrosión	52
3.4- Métodos de retención de Gases Corrosivos contaminantes	60
3.5- Características de las Medias Químicas de Purificación de Aire	61
CAPITULO 4.- Cuartos de Control Industriales	66
4.1- Tipos de Cuartos de Control	67
4.2- Características del Cuarto de Control	70
4.3- Control Ambiental del Cuarto de Control	71
CAPITULO 5.- Diseño de los Sistemas de Aire Acondicionado	73
5.1- Criterios Generales	74
5.2- Sistemas de Aire Acondicionado	75
5.3- Sistema de Aire Acondicionado con Equipo Dividido	78
5.4- Sistema de Aire Acondicionado con Equipo Paquete Convencional	80
5.5- Sistema de Aire Acondicionado con Equipo Paquete de Última Generación	82
CONCLUSIONES	84
BIBLIOGRAFÍA	86

INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo se han venido desarrollando diferentes sistemas de acondicionamiento de aire mediante refrigeración mecánica esta ha venido progresando hace mas de 50 años.

Por lo tanto nos vemos en la necesidad de emplear equipo electrónico como parte importante en el diseño de edificios esto nos permitirá manipular sus diferentes sistemas de control de proceso y así poder ofrecer un ambiente agradable para las personas que se encuentren allí.

Sin embargo, este tipo de tecnologías se encuentran en una serie de desventajas que se deben tomar en consideración para poder optimizar: su, rendimiento, durabilidad, mantenimiento, etc.

Inclusive este tipo de problemas surge no solo en los cuartos de control, que afectan al equipo electrónico, también, afecta a gran parte del inmueble; como envejecimiento de pintura, corrosividad de tuberías, proliferación de diferentes tipos de bacteria, hongos, y una gran gama de problemas que se tienen que solucionar.

Espero que esta tesis les sirva de gran referencia para poder solucionar la gran problemática de este tiempo y así tener una mejor calidad de vida.



CAPÍTULO

PRIMERO

PRINCIPIOS BÁSICOS DEL AIRE

ACONDICIONADO

1.1 BREVE HISTORIA DEL AIRE ACONDICIONADO

El aire acondicionado es tan antiguo como el hombre. Los primitivos emplearon como primera instancia pieles de animales para cubrir su cuerpo, mantener el confort corporal, protegerse de altas temperaturas de verano y las bajas temperaturas de invierno, encontrando refugio en cavernas.

La historia muestra que los nobles egipcios, usaron esclavos equipados con ramas de palmas para ventilar a sus amos. Así, el enfriamiento evaporativo, suministro algún alivio para el calor del desierto.

Los romanos, diseñaron calefacción y ventilación en sus famosos baños, también traían hielo de las montañas del norte, para enfriar vino y posiblemente también para enfriar agua para el baño.

En los primeros desarrollos técnicos, la ventilación y calefacción central, progresaron rápidamente durante el siglo XIX. Se inventaron los ventiladores, calderas y radiadores. Los primeros hogares para calentar aire fueron de hierro fundido, quemando carbón con distribución de aire por gravedad. Algunos ventiladores mecánicos fueron usados para circulación forzada de aire a través de ductos. La calefacción eleva la temperatura en un local, con respecto a la temperatura atmosférica, a un nivel satisfactorio. La calefacción puede ser directa (chimeneas o estufas) o sistema central con vapor, agua caliente o aire caliente.

Fue en 1844 cuando el doctor John Gorrie (1803-1855), director del hospital naval Apalachicola, Florida, descubrió la maquina de refrigeración. En 1851, donde se le concedió la patente US 8080. Esta fue la primera maquina comercial en el mundo, usada para refrigeración y aire acondicionado. La maquina de Gorrie, recibió ampliamente reconocimiento y aceptación en el mundo entero. Muchas mejoras al trabajo del doctor Gorrie, se obtuvieron con el desarrollo de las compresoras alternativas aplicándolas a la fabricación de hielo, cervecería, empaque de carne y procesamiento de pescado. La ingeniería de refrigeración llegó a ser una profesión reconocida y en 1904, alrededor de 70 miembros formaron al ASRE (American Society of Refrigeration Engineers).

Sin embargo el padre del “aire acondicionado”, fue Willis H. Carrier (1876-1950), como lo anotan muchos historiadores. A través de su brillante carrera, W. Carrier contribuyó al avance de esta industria más que cualquier otro individuo. El Dr. Willis Carrier diseñó el primer sistema de aire acondicionado en 1902, para un impresor de Brooklyn, N.Y. que no lograba imprimir una imagen decente a color debido a que los cambios de temperatura y la humedad afectaban las dimensiones y alineación de las tintas.

Por casi dos décadas, la invención del aire acondicionado, permitió controlar la temperatura y la humedad, estaba dirigida a la industria más que al confort de las personas. No fue hasta 1906 que W. Carrier, patentó su primer equipo como: “Un aparato para tratar el aire”. Las industrias textiles del sur de los Estados Unidos fueron los primeros en usar el nuevo sistema. La falta de humedad en el aire causaba exceso de electricidad estática, provocando que las fibras de algodón se deshilacharan y fuera difícil tejerlas.

El sistema de aire acondicionado elevó y estabilizó el nivel de humedad para eliminar este problema. En 1911 presentó su famoso trabajo, sobre las propiedades del aire. Estas

suposiciones y formulas, fueron la base para la primera carta psicrométrica y llegaron a ser para los cálculos fundamentales en la industria del aire acondicionado. En 1915 Willis Carrier y seis de sus amigos se reunieron para formar la compañía Carrier Engineering. Su único propósito era la de satisfacer las necesidades de temperatura y humedad requeridos por el cliente.

Muchos norteamericanos disfrutaron la experiencia del aire acondicionado en los cines por primera ocasión, ya que los propietarios instalaron los equipos para incrementar la asistencia durante los cálidos y húmedos días de verano. Según palabras de W. Carrier la prueba de fuego se presentó cuando el Teatro Rivoli en Nueva York le solicitó a la joven empresa instalar un equipo de enfriamiento. El refrescante Confort que ofrecía fue promovido en todos los sectores. La industria creció durante el verano, y para 1930 Carrier había climatizado 300 salas de cine así la gente no tenía que sufrir por el calor.

Los propietarios de negocios pequeños deseaban competir con los grandes almacenes, así que Carrier desarrolló una unidad pequeña de aire acondicionado a finales de los años 20. En 1928 fue un pequeño paso para el futuro desarrollo del equipo doméstico "Weathermaker", que enfriaba, calentaba, humedecía, limpiaba y circulaba el aire en los hogares.

El siguiente avance fue el desarrollo de los refrigerantes seguros. En 1930, Tomás Midgley de la compañía Du Pont, desarrolló el hoy famoso refrigerante Freón (fluorocarbón). En 1931 se introdujo el Freón como refrigerante comercial. Los refrigerantes de fluorocarbón, permiten usos en donde otros materiales inflamables o tóxicos son peligrosos. Adicionalmente, las características de operación del F-12 desarrolló nuevos diseños en compresores y componentes del sistema. Una familia completa de refrigerantes de Freón, fue creciendo a medida que las condiciones específicas de operación lo requerían. En 1955, otras firmas se unieron, a la Du Pont en la producción de estos refrigerantes y en 1956, se adoptó una nueva numeración para designarlos: R-12, R-22 y otros.

Después de la segunda guerra mundial los productos consistían principalmente en sistemas aplicados a grandes edificios, almacenes y residencias por equipos llamados tipo paquete. Estas unidades fueron principalmente enfriadas por agua y en 1953 por medio de aire.

El sistema dividido, consiste en dos partes, un componente de enfriamiento interior y una sección de condensación exterior. Las dos están conectadas por líneas de refrigerante de succión y de líquido. La unidad interior puede variarse ampliamente, o puede equiparse con un ventilador para proporcionar su propio caudal de aire. La adaptabilidad de estos sistemas es un éxito. Las primeras versiones requirieron lubricación y soldaduras de líneas refrigerantes, evacuación y caja de refrigerante en el sitio, antes de entrar en operación. Esto añadía costos a la instalación y requería instaladores altamente entrenados.

Durante este mismo periodo de desarrollo, la industria convirtió muchos de estos sistemas tipo paquete y sistema dividido, que son de enfriamiento por métodos reversibles llamados bombas de calor, significando con esto que podía introducirse calor a un espacio, dependiendo del tipo de usuario. La última innovación de productos ocurrida a finales de la década de los 50 y principios de los 60 y que aun cuenta con un crecimiento mayor de todos los acondicionadores tipo paquete, para todo el año, fue la combinación de calefacción con gas y enfriamiento eléctrico.

Al final de 1950 el Field Investigation Committee y el Research Advisory Comité of the National Warm Air Heating and Air-Conditioning Association en cooperación con la Universidad de Illinois establecieron la estación para experimentos de Ingeniería. Muchos estudios importantes se hicieron con las características del flujo del calor, el efecto del aislamiento, diseño y la eficiencia de sistemas de distribución de aire. Los resultados de este esfuerzo, ayudaron grandemente al avance de la selección y aplicación de la calefacción y el aire acondicionado y luego a ser la base para varios manuales de diseño. El nombre de la asociación ha sido cambiado ahora a NESCA (National Environmental systems Contractors Association). En 1981 se comenzó a implementar tecnologías en computación para optimizar más efectivamente las operaciones, para reducir costos. En 1986, después de dos grandes reorganizaciones Borg-Warner intentó de sobrevivir la recesión del momento, pero decidió liberar la división de aire acondicionado de Borg Warner a una compañía independiente que luego se establecería como la compañía de manufacturación de aire acondicionado independiente más grande en el mundo: YORK international.

En los años 90, York continua incrementando su participación del mercado en ventas domesticas y en mercados internacionales. Para los Juegos Olímpicos en Albertville, Francia, arenas de patinaje sobre hielo y eventos en los Juegos Olímpicos de invierno de Lillehammer, Norway fueron posibles debido a las tecnologías de refrigeración de hielo York. Inclusive también se estableció como la compañía oficial de aire acondicionado de los Juegos Olímpicos del Verano de 1996 en Atlanta, Georgia. Simultáneamente, York continúa incrementando su competitividad para mejorar eficiencia por medio de una amplia reorganización y el desarrollo de nuevas líneas de productos, por ejemplo, el producto innovador Triathlon que utiliza gas natural para calefacción y enfriamiento.

Actualmente muchos productos y servicios vitales dependen del control del clima interno; La comida para nuestra mesa, la ropa que vestimos y la biotecnología de donde obtenemos químicos, plásticos y fertilizantes. El aire acondicionado es muy importante en la medicina moderna, desde sus aplicaciones en el cuidado de bebés y la sala de cirugía hasta el uso en los laboratorios de investigación. Sin el control exacto de temperatura y humedad los microprocesadores, circuitos integrados y la electrónica de alta tecnología no podrían ser producidos. Los centros computacionales dejarían de funcionar. Muchos procesos de fabricación precisa no serían posibles. El vuelo de aviones y de naves espaciales sería solo un sueño. Minerales valiosos no podrían ser extraídos desde la profundidad de la tierra y los arquitectos no podrían haber diseñado los enormes edificios que han cambiado la cara de las ciudades más grandes del mundo.

El aire acondicionado ha hecho posible el crecimiento y desarrollo de las áreas tropicales, proporcionando los medios para más y mejores vidas productivas. Docenas de ciudades desérticas, desde el Ecuador hasta Arabia Saudita no existiría aún hoy, sin la habilidad del hombre para controlar su medio ambiente. Sin el aire acondicionado, la calidad de vida como hoy la conocemos sería la única división limitada por la naturaleza. Pero esto no es el final del viaje, es solo el principio de otro más grande ya que la mente puede concebir lo que el hombre es capaz de crear. La excitante promesa del mañana se sostiene en la tecnología de hoy y ésta, tal y cual la conocemos es el resultado del aire acondicionado. Estos fueron solamente unos pocos pasos a lo largo del camino hacia el desarrollo del moderno aire acondicionado que conocemos hoy en día.

1.2 TEORIA DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR

Al incrementar la energía de un sistema, la del medio disminuye proporcionalmente manteniendo así el principio de conservación, debido a que dicho sistema y su medio forman un sistema aislado.

Se trata de la transferencia de energía en forma de calor. Es importante recalcar que el calor no es como comúnmente se conoce, cuando se mencionan términos como está frío o está caliente ó incluso hace calor.

Por consiguiente es importante para una definición clara que se utilice en termodinámica.

Calor entonces se define como la forma de energía transmitida a través del límite de un sistema que se encuentra a una temperatura determinada a otro sistema que tiene una temperatura más baja. Es decir que siempre se transmitirá el calor del sistema que tiene mayor temperatura al de menor temperatura, y por lo tanto se puede mencionar que la transmisión de calor tendrá lugar únicamente cuando exista diferencia de temperaturas entre los sistemas. Un cuerpo nunca contiene calor, si no el calor se identifica únicamente cuando cruza el límite. Para que quede un poco más clara esta definición, se puede mencionar algún ejemplo: tenemos un tocho de hierro y es calentado a una temperatura de 100°C y este se considera como sistema y una cubeta que contenga agua fría la tomamos como un segundo sistema, es claro como ya se menciono que ninguno de los dos sistemas contiene calor originalmente; ahora colocamos el tocho de hierro sobre el agua para tener una comunicación térmica, y podemos comprobar que el calor se trasmite del tocho de hierro al agua, hasta que se establece el equilibrio de temperatura en los sistemas. Entonces el punto final de la transmisión de calor y ninguno de los sistemas contiene calor al terminar el proceso. Entonces el calor se define como la energía que se transmite a través del límite del sistema.

El calor es energía transmitida a niveles microscópicos. Regularmente el término Q es utilizado para representar la cantidad de energía transmitida en forma de calor, entonces, δQ representa una cantidad infinitesimal de dicha transmitida de dicha transferencia. El valor de Q va a depender de los detalles del proceso y no de las condiciones finales del sistema.

En un proceso en el cual no existe transmisión de calor se le llama proceso adiabático $Q = 0$.

La cantidad de calor transmitida cuando el sistema sufre un cambio de estado del 1 al 2, va a depender de la trayectoria que sigue al sistema durante el cambio de estado.

$$\int \delta Q = Q_1$$

Esta expresión es de una diferencial inexacta δQ , integrada. Agregando $\delta\theta$ se define como la rapidez con la que trasmite calor a un sistema y se expresa:

$$Q = \frac{\delta Q}{\delta\theta}$$

El calor transmitido por unidad de masa del sistema esta expresado por:

$$q = \frac{Q}{m}$$

Es importante resaltar que entre calor y trabajo existe mucha similitud; ya que los dos son fenómenos transitorios, puesto que los sistemas no contienen calor o trabajo, ambos se observan únicamente en los límites y representan la energía que cruza el límite del sistema y los dos son funciones de trayectorias inexactas.

Este concepto es básico para comprender más fácil el estudio de transferencia de calor que a continuación se presenta.

Ya que las pérdidas de calor de las construcciones son consecuencia parcial de la transferencia de éste, será necesario comprender algunas particularidades básicas de este proceso.

Cuando existe una diferencia de temperaturas por pequeña que esta sea, será motivo suficiente para generar un flujo de calor que será transmitido del cuerpo que tenga mayor temperatura al de menor temperatura, como se menciono anteriormente. Este flujo será variable ya que va a depender del mecanismo por el que es transferido

Conducción: es el mecanismo en el cual el calor es transferido a nivel molecular dentro de la estructura de la materia en fase sólida. Se transmite de una molécula adyacente hacia la otra a lo largo de trayectoria del flujo de calor, de la molécula más caliente a la más fría. Por ejemplo podemos citar una barra de cobre que se calienta en un extremo.

También se le llama conducción calorífica y su ley fundamental es una generación de los resultados experimentales sobre el flujo calorífico lineal a través de una lámina, perpendicularmente a sus caras, representada por la siguiente ecuación de Fourier:

$$Q = K \frac{A}{x} (T_1 - T_2)$$
$$Q = K \frac{A}{x} \Delta T$$

Donde:

Q = Transferencia de calor por unidad de tiempo, (Watt)

K = Constante de proporcionalidad denominado conductividad de término, (W m/m² °C)

ΔT = Es la diferencia de temperaturas entre los dos lados de la pared, (°C)

A = Área de la lamina, (m²)

X = Es el espesor de la lamina, (m)

La conductividad térmica K es perpendicular a la conducción de calor por conductividad. Esta es evaluada con la experiencia. En los sólidos tiene varios valores numéricos, que dependerán de su conductividad, si es buen conductor o mal conductor. Cuando es un buen

conductor se llama conductor térmico (como el metal), y los segundos se conocen como aislantes térmicos porque tiene un valor pequeño de K como es el caso de los asbestos.

Se puede decir entonces de este valor depende de la temperatura, entre otros factores. Si tiene las partes de una sustancia existe una pequeña diferencia de las temperaturas, cabe considerar K como constante en la sustancia en su totalidad.

Se nota que en la ecuación anterior que la velocidad de flujo de calor es inversamente, proporcional al espesor del aislamiento; es decir que la transferencia de calor disminuirá cuando se aumenta el espesor del aislamiento.

En una pared compuesta como la que se muestra a continuación en la figura 1.1, la conducción se puede tratar con la ecuación anterior agregándole el concepto de resistencia.

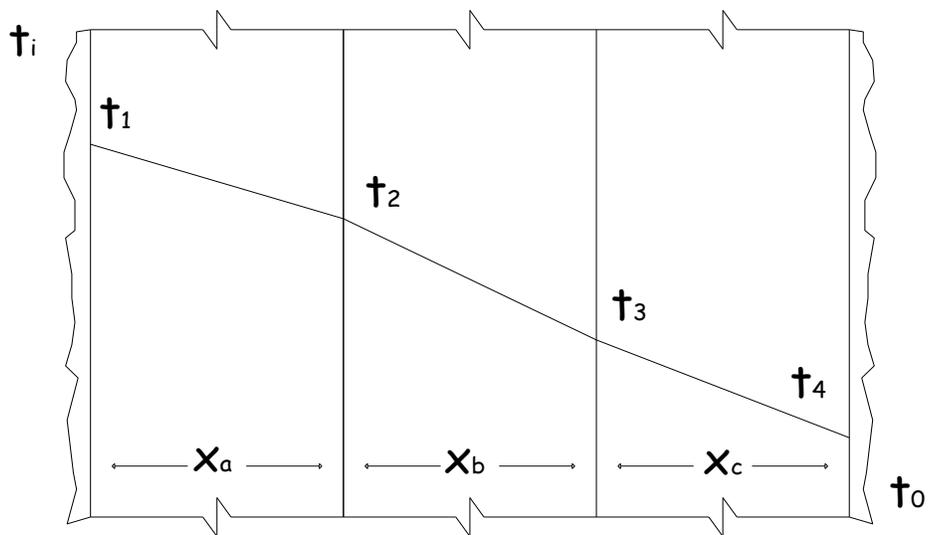


Figura 1.1. Pared compuesta

Entonces haciendo el arreglo algebraico de los términos, tenemos:

$$Q = K \frac{A}{x} (T_1 - T_2)$$

$$Q = \frac{A(T_1 - T_2)}{x/K}$$

$$Q = \frac{A(T_1 - T_2)}{R}$$

Donde:

$$R = \frac{x}{K} = \text{Resistencia Térmica, (m}^2 \cdot \text{C/W)}$$

En este caso, el flujo estable de calor que fluye en toda la pared es el mismo.

$$Q = Q_a = Q_b = Q_c$$

$$Q = \frac{A(T_1 - T_2)}{R_a} = \frac{A(T_2 - T_3)}{R_b} = \frac{A(T_3 - T_4)}{R_c} = \frac{A(T_1 - T_4)}{R_r}$$

Entonces para el caso general:

$$Q = \frac{A(T_1 - T_2)}{R_r}$$

Para cada aplicación es necesario calcular la resistencia térmica global de cada parte de la construcción por la que pasa el calor, aún cuando ya existen cálculos hechos para muchas combinaciones diferentes de materiales de construcción, debido a que surgen nuevos materiales o nuevas combinaciones de ellos, para la mejor absorción de radiación solar, y exista menos transferencia de calor entre el exterior y el interior, manteniendo las condiciones interiores.

Convección: es la forma de transferencia de calor que resulta del movimiento global de fluidos (líquido o gas) al absorber calor en un lugar y posteriormente ser desplazado a otra posición, en donde el fluido al mezclarse con otra porción más fría cede calor.

Cuando el movimiento del fluido se presenta por diferencia de masas específicas debido al cambio de densidad (por su expansión térmica ocasionada por el flujo de calor), se llama convección natural.

Independientemente de que se encuentre en movimiento el fluido, existirá una capa del fluido muy delgada que estará adherida a la pared relativamente fija que actúa como resistencia adicional al flujo de calor. El espesor de esta capa dependerá de las condiciones de convección del sistema. En esta capa sus condiciones cambian más cuando el movimiento del fluido sea más turbulento, es decir que se hará más delgada. La pared transfiere calor por conducción a través de la capa y por convección en el fluido.

El símbolo f representa el coeficiente de película, sus unidades son ($\text{W/m}^2\text{C}$).

$$f = \frac{K}{x}$$

Considerando los coeficientes de película (f_0 y f_1) en los dos lados de un material, la ecuación para el caso general, queda:

$$Q = \frac{A(T_i - T_e)}{\frac{1}{f_1(1)} + \frac{x_a}{k_a(1)} + \frac{x_b}{k_b(1)} + \frac{x_c}{k_c(1)} + \dots + \frac{1}{f_0(1)}}$$

Si se incrementa la rugosidad de la superficie y este aumento casi es lineal con el aire o la velocidad del viento sobre la superficie, los coeficientes f de la película de conductancia también se incrementa. También se incrementan al aumentar la diferencia de temperaturas.

Se puede encontrar el coeficiente total de transferencia de transferencia de calor, para una pared compuesta mediante la siguiente ecuación, facilitando así, el cálculo de las condiciones de flujo de calor.

$$Q_c = U A (T_e - T_i)$$

Donde:

Q_c = Calor por conducción y convección, (Watt)

U = Coeficiente global de transferencia de calor, ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

A = Área de transferencia de calor, (m^2)

$(T_e - T_i)$ = diferencia de temperaturas exterior e interior, ($^\circ C$)

Radiación: Es la forma de transferencia de calor que se produce por ondas electromagnéticas (como la luz del sol: rayos ultravioletas y rayos infrarrojos). Esta forma es mucho más sensible a la temperatura que los dos antes mencionados, y su frecuencia de radiación depende de la naturaleza de su fuente.

Esta energía se transmite desde una fuente a un receptor, se emite dentro de la materia (fuente) excitada al receptor, en este último, parte de la energía se absorbe y la otra parte es reflejada. El cuerpo más caliente puede absorber y emitir radiación pero emite más que la que recibe.

La radiación se cuantifica con la siguiente ecuación:

$$Q_R = UA (T_{eq})$$

Donde:

Q_R = Calor por radiación transmitido, (Watt).

U = Coeficiente global de transferencia de calor, ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

A = Área de la superficie de emisión de absorción, (m^2)

T_{eq} = Temperatura equivalente, ($^\circ C$)

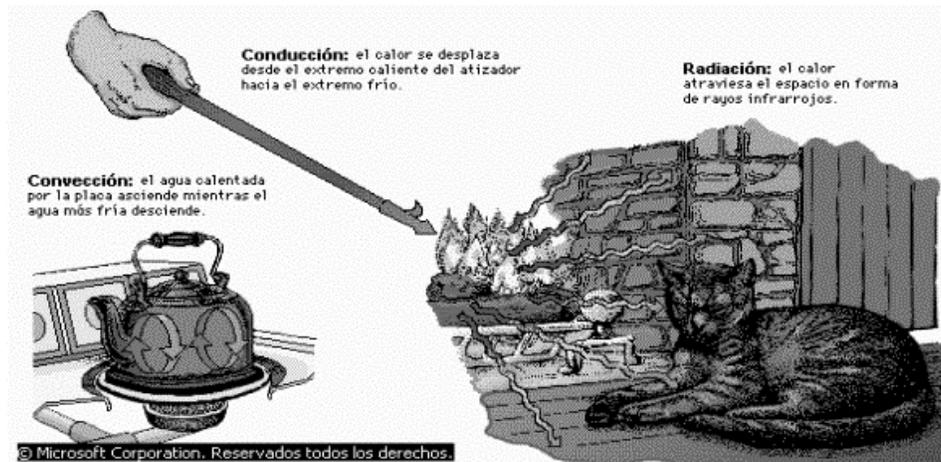


Figura 1.2. Los tipos de transferencia de calor

1.3 PSICROMETRIA

El aire atmosférico que nos rodea es una mezcla de aire seco y vapor de agua, a la que se le llama aire húmedo. Debido a que esta mezcla de gases es la que se acondiciona en los sistemas de control ambiental, es necesario comprender como se comporta.

Psicometría: es el nombre que se ha dado al estudio de las mezclas de aire y vapor de agua.

Es necesario un análisis psicrométrico para seleccionar el equipo adecuado de acondicionamiento de aire para localizar fallas en los sistemas que no funcionan correctamente.

Las propiedades físicas del aire son las siguientes:

Temperatura de bulbo seco (BS):

También es conocida como *temperatura seca* y es la medida con un termómetro convencional de mercurio o similar cuyo bulbo se encuentra seco.

Temperatura de bulbo húmedo (BH):

Conocida como *temperatura húmeda* es la temperatura que da un termómetro a la sombra con el bulbo envuelto en una mecha de algodón húmedo bajo una corriente de aire.

La corriente de aire se produce mediante un pequeño ventilador o poniendo el termómetro en un molinete y haciéndolo girar

Temperatura de punto de rocío (PR):

Llamada *temperatura de rocío* es la temperatura a la que empieza a condensar el vapor de agua contenido en el aire, produciendo rocío, neblina o, en caso de que la temperatura sea lo suficientemente baja, escarcha.

Humedad específica (W):

Es la masa de vapor de agua por unidad de masa de aire húmedo, se expresa en gramos por kilogramo.

Humedad relativa (HR)

Es el cociente en la humedad absoluta y *la cantidad máxima de agua que admite el aire por unidad de volumen*. Se mide en tantos por ciento y está normalizada de forma que la humedad relativa máxima posible es el 100%.

Una humedad relativa del 100% significa un ambiente en el que no cabe más agua. El cuerpo humano no puede transpirar y la sensación de calor puede llegar a ser asfixiante. Corresponde a un ambiente húmedo. Una humedad del 0% corresponde a un ambiente seco. Se transpira con facilidad

Volumen específico (VESP)

Son los metros cúbicos de aire húmedo que corresponden a un kilogramo de aire seco y es utilizado para el estudio del aire húmedo en el dimensionamiento de sistemas de aire acondicionado. Es la inversa de la densidad, se expresa en m^3/Kg .

Entalpía específica (H)

Es el contenido de calor de aire por unidad de peso, expresada en J/Kg.

Factor de calor sensible (F.C.S.)

Es la relación de la ganancia de calor sensible y la del calor latente.

Cuando se conocen dos de estas propiedades, las demás se pueden encontrar fácilmente con la ayuda de la carta psicrométrica.

La carta psicrométrica es la representación gráfica de las propiedades del aire atmosférico. Su empleo es universal por que representa una gran cantidad de información en forma sencilla, además de que ayuda a estudiar los procesos de acondicionamiento de aire.

La ubicación de las escalas para cada una de las propiedades y las líneas de vapor constante para esas propiedades se muestra en la figura 1.3.

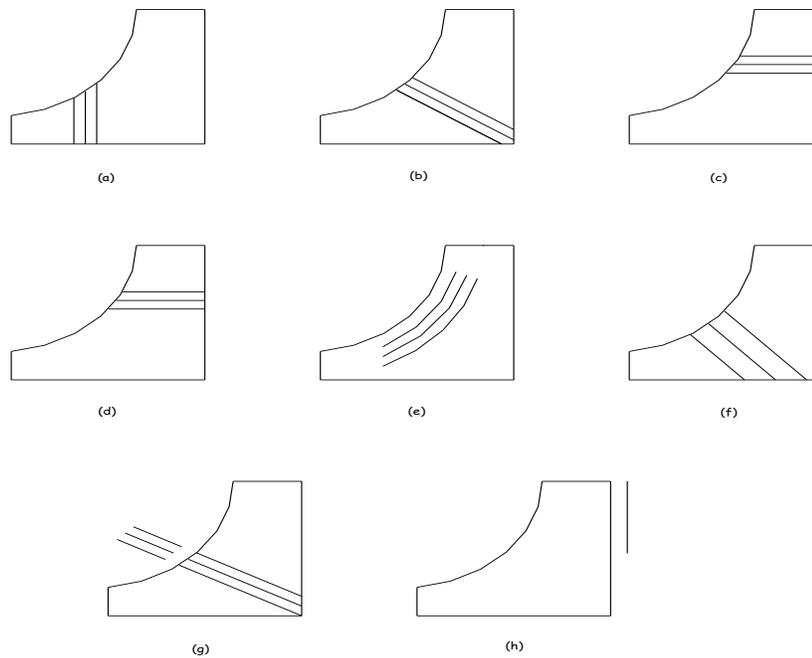


Figura 1.3. Construcción de la carta psicrométrica, mostrando valores constantes de las propiedades

En (a) se muestran las líneas de temperatura constante de bulbo seco, en (b) se muestran las líneas de temperatura constante de bulbo húmedo, en (c) las líneas de punto de rocío constante, en (d) las líneas de humedad específica constante, en (e) las líneas de humedad relativa constante, en (f) las líneas de volumen específico constante, en (g) las líneas de entalpía específica constante y en (h) la línea del factor de calor sensible.

El objeto del equipo de acondicionamiento de aire es cambiar el estado del aire que entra y llevarlo a otra condición. A este cambio se le llama proceso.

Es de mucha ayuda el indicar los procesos en la carta psicrométrica, para la selección de equipo y análisis de problemas. Los procesos se indican trazando una línea desde el estado inicial del aire hasta su estado final. El aire cambia sus propiedades a lo largo de esta línea. La mayor parte de los procesos se pueden representar mediante líneas rectas. En la figura 1.4, se muestran estos procesos representados en la carta psicrométrica.

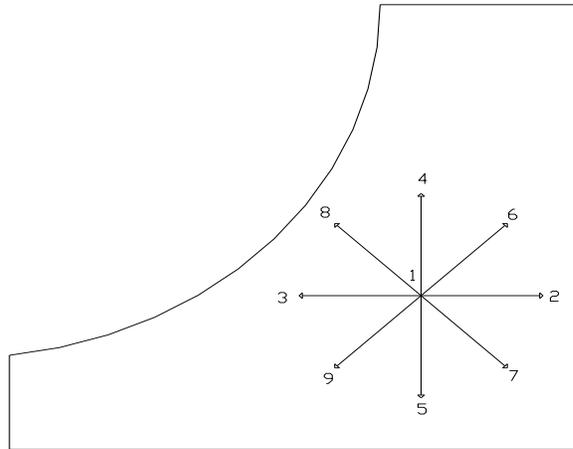


Figura 1.4. Procesos Psicrométricos

El calentamiento sensible (proceso 1-2) ocasiona un aumento en la temperatura de bulbo seco y en la entalpía.

El proceso 1-3 es de enfriamiento sensible (eliminación de calor) y ocasiona una disminución de la temperatura de bulbo seco y la entalpía.

El proceso 1-4, la humidificación, tiene como resultado un aumento en la humedad específica y la entalpía.

En la deshumidificación, proceso 1-5, la eliminación de vapor de agua acarrea una disminución de entalpía.

En el proceso de 1-6, se tiene calentamiento sensible y humidificación.

En el proceso de 1-7, se tiene calentamiento sensible y deshumidificación.

En el proceso de 1-8, se tiene enfriamiento y humidificación.

En el proceso de 1-9, se tiene enfriamiento y deshumidificación.

En estos últimos cuatro procesos, en general, cambian tanto la temperatura de bulbo seco, como la humedad y la entalpía.

El proceso de 1-9, enfriamiento y deshumidificación, representa las condiciones del acondicionamiento de aire de la plataforma.

Por ultimo la carta publicada por ASHRAE muestra valores de entalpía a varias temperaturas. En esta carta se involucran tres variables: valores de temperatura de bulbo seco, humedad relativa, puntos de saturación, entre otros. Ver figura 1.5

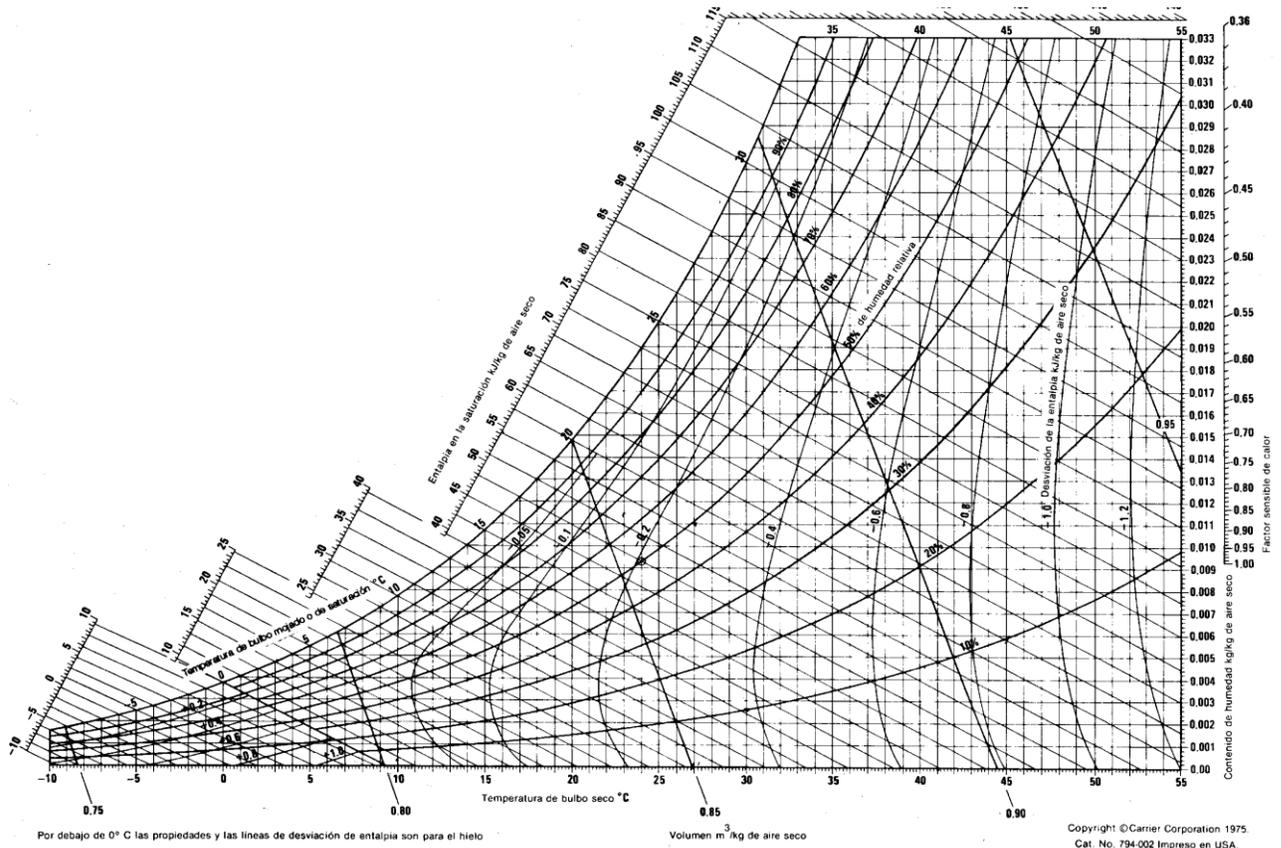


Figura 1.5. La carta psicrométrica

1.4 TIPOS DE SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO

Un sistema de aire acondicionado se define como el proceso mediante el cual se proporcionan las condiciones de temperatura, humedad, limpieza, distribución y velocidad del aire en un local determinado. Se puede proporcionar enfriamiento o calefacción con el mismo caudal de aire.

En algunas aplicaciones, la calefacción se lleva a cabo por separado con un sistema de agua caliente, vapor de agua o resistencias eléctricas.

Los sistemas de aire acondicionado se pueden clasificarse de acuerdo al sistema mecánico de enfriamiento en:

- a) Sistemas de expansión directa
- b) Sistema de agua refrigerada
- c) Sistema unizona

Asimismo pueden clasificarse de acuerdo a la descarga de aire en:

- d) Sistema de doble ducto
- e) Sistema multizona

1.4.1 Sistemas de expansión directa

La principal aplicación de éste sistema es para capacidades de enfriamiento de 3.5 a 241.4 kW (1 a 80 TR). En este sistema, el medio que actúa como absorbedor es el refrigerante al evaporarse y requiere de un circuito de tuberías de refrigeración para interconectar al serpentín condensador. El serpentín evaporador tiene la función de cambiar el refrigerante de estado líquido a estado gaseoso, elevando su temperatura y presión. En los equipos paquete se ubica en la sección de expansión y en el sistema dividido se ubican en la unidad manejadora de aire. El compresor aumenta la presión y temperatura del refrigerante que se encuentra en estado gaseoso en la succión. Se localiza en la unidad condensadora. El serpentín condensador realiza una transmisión de calor del refrigerante hacia el aire y se lleva a cabo un cambio de estado, de gaseoso a estado líquido a temperatura constante, se localiza junto al compresor en la unidad condensadora. Para unidades acondicionadoras de aire tipo paquete el circuito de refrigeración está integrado y para el sistema tipo dividido, los diámetros de las tuberías varían de acuerdo a las capacidades de enfriamiento, localización y distancia entre la unidad manejadora de aire y la unidad condensadora.

1.4.2 Sistemas de agua refrigerada

El sistema de agua refrigerada se utiliza principalmente para medianas y grandes capacidades de enfriamiento 284.9 a 2,111.2 kW (81 a 600 TR). Considerando como factor principal para su instalación, que el costo de operación es menor que el sistema de expansión directa. Para el proceso de enfriamiento de este sistema se puede considerar circuito primario y secundario. En el circuito primario se cuenta con un sistema de refrigeración mecánica ubicado en la unidad enfriadora de agua. En el evaporador se lleva a cabo un intercambio de calor entre el agua refrigerada y el gas refrigerante, que es donde realmente se lleva a cabo el enfriamiento de agua y evaporación del refrigerante. Una vez enfriada el agua, se hace circular por tuberías aisladas térmicamente por un sistema de bombeo, hasta los serpentines de enfriamiento de las unidades manejadoras de aire ubicadas en los cuartos de maquinas de las diferentes zonas acondicionadas de un edificio.

En el circuito secundario se lleva a cabo el enfriamiento y condensación de gas refrigerante, el agente condensador puede ser aire o agua de condensación. Para el caso de agua de condensación se requiere la instalación de una torre de enfriamiento, donde se bombea el agua caliente que sale del serpentín evaporador hasta la parte superior de la torre, durante el recorrido del agua por la torre y hasta llegar al depósito inferior, el agua de condensación disminuye su temperatura. Por medio de un sistema de bombeo, se hace circular por tuberías aisladas térmicamente hasta el serpentín evaporador de la unidad enfriadora.

Cuando el agente condensador es aire, se emplean condensadores enfriados por aire, el cual generalmente es forzado con ventiladores axiales, ubicadas en lugares remotos en el exterior, hasta donde se envía y retorna el refrigerante de la unidad refrigeradora de agua.

1.4.3 Sistema unizona

El sistema unizona es aquel que cuenta con un solo ducto de inyección ya sea horizontal o vertical. Este sistema tiene las características de contar con los serpentines de enfriamiento y calefacción en serie, empleando un ducto común para distribuir el aire y alimentar los difusores de inyección. La aplicación más importante que tiene este sistema es en sistemas de volumen constante, sistema de volumen variable y sistemas de recalentamiento por zonas. El sistema de aire acondicionado tipo unizona es el más sencillo. Puede emplearse con equipo tipo paquetes o sistemas tipos dividido de expansión directa o de agua refrigerada, manteniendo el concepto de emplear un solo control de temperatura para una determinada área común. La unidad puede instalarse fuera o dentro del local acondicionando y puede operar fuera o dentro del local acondicionado y puede operar con o sin ductos. Estos sistemas pueden mantener adecuadamente la temperatura y la humedad y puede apagarse cuando se desee sin afectar la operación de otros locales.

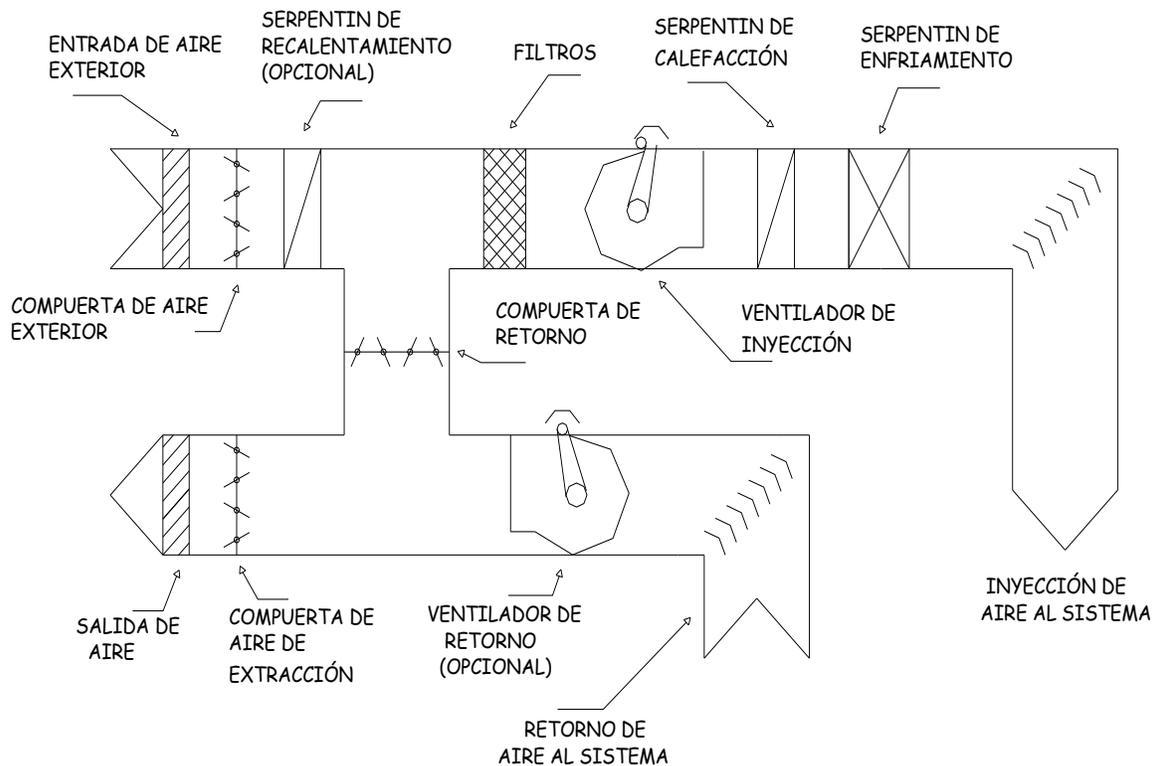


Figura 1.6. Sistema Unizona

El uso del sistema unizona se limita donde las variaciones de carga de la zona acondicionada son casi uniformes. Un sistema unizona puede aplicarse a locales pequeños o medianos. Una típica unidad paquete, que se complementa internamente con un sistema de refrigeración y calefacción es considerada un sistema unizona. El control del sistema unizona se lleva a cabo por medio de un termostato que controla una válvula solenoide para el control de flujo del refrigerante o por la instalación de recalentamiento por la combinación de estos. Cuando se incluye un humidificador al sistema se dispone de control

de humedad sensible a las necesidades del local acondicionado. El sistema unizona sin recalentamiento ofrece flexibilidad de enfriamiento pero no puede controlar humedad de verano independiente de los requerimientos de temperatura.

El sistema unizona tiene la ventaja de ser fácil de balancear y es fácilmente adaptable a cualquier tipo de recurso de energía para calefacción o refrigeración. Para que el sistema unizona siga siendo un sistema de ahorro de energía, debe dar servicio solamente a los locales que se ocupan simultáneamente. La respuesta del sistema de aire permite una rápida restauración de la temperatura del local con uso mínimo de energía. El sistema unizona puede ampliar su aplicación en locales donde se cuente con varios locales con diferentes variaciones de carga de forma simultánea, convirtiéndolo en sistema de volumen de aire variable, el cual consiste en variar el caudal de aire requerido en el local acondicionado conforme las variaciones de carga lo cual dependerá de diferentes variables, como son, uso del local, orientación y hora del día, entre otros.

El control de temperatura en un local acondicionado requiere un equilibrio entre la carga del local acondicionado y el aire suministrado para compensar la carga. Durante el proyecto, se debe decidir entre variar la temperatura del aire de inyección (volumen constante) o variar el volumen de aire de inyección (volumen variable) conforme las variaciones de carga del local acondicionado.

1.4.4 Sistema de doble ducto

El sistema de doble ducto acondiciona todo el aire en un equipo central y lo distribuye a los locales condicionados a través de dos ductos principales paralelos. Un ducto lleva aire frío y el segundo aire caliente, manteniendo fuentes de aire para calefacción y enfriamiento en todo tiempo. En cada local o zona acondicionada debe existir una válvula mezcladora que responde a un termostato de cuarto y lleva a cabo la mezcla de las dos corrientes de aire caliente y frío en proporciones apropiadas para satisfacer la carga térmica del local acondicionado.

Los sistemas de doble ducto pueden ser de alta velocidad o alta presión y operan de manera similar a los sistemas de baja velocidad sólo que el ventilador de inyección trabaja a una presión mucho más alta y cada zona requiere una válvula mezcladora con atenuación de ruido. Además se requiere mayor energía para operar el ventilador de inyección además de requerirse un ventilador de retorno de aire a las altas presiones de sistemas, por consiguiente, estos sistemas no son recomendados para edificios nuevos.

Los sistemas de volumen variable de doble ducto permiten por ellos mismos particularizar requiriendo de flexibilidad en la carga máxima de enfriamiento y calefacción. El Aire caliente y frío es mezclado para permitir el control de temperatura del local. En zonas que requieran enfriamiento máximo la temperatura y volumen necesarios de inyección son los mismos que la aplicación de un sistema de volumen constante. Si la carga de enfriamiento es reducida, el volumen de aire frío es modulado a un mínimo predeterminado. Con una futura reducción en la carga de enfriamiento, el suministro de aire caliente se abre y se mezcla ocurre hasta que exista la demanda para máxima calefacción.

La modulación del ventilador empleado en este sistema es el mismo que se emplea en el sistema de un solo ducto de volumen variable, para lograr los ahorros de energía programados. Para aprovechar al máximo la energía, las temperaturas del aire frío y del aire caliente deben ser establecidas automáticamente para los requerimientos de enfriamiento y calefacción máximos. Los reguladores de caudal se encuentran en la CW. Se recomienda que el sistema sea provisto con control de velocidad en el ventilador para asegurar el control de caudal de aire y así el ahorro de energía.

1.4.5 Sistema multizona

El sistema multizona se aplica para dar servicio a un pequeño número de zonas con una sola unidad manejadora de aire con sistema de enfriamiento de expansión directa o de agua refrigerada. Los requerimientos de las zonas acondicionadas son abatidos por una mezcla de aire frío y caliente a través de las compuertas de las zonas de la unidad manejadora de aire central en respuesta a los requerimientos de los termostatos de cuarto de cada zona. El aire acondicionado mezclado es distribuido a lo largo del cuarto por un sistema de ductos, empleando ramales para cada zona acondicionada. El aire del retorno se maneja de una manera convencional con retorno común. Este sistema no cuenta con control de velocidad del ventilador de inyección.

El sistema multizona es similar al sistema de doble ducto. Puede proporcionar algunas ventajas en un cuarto pequeño a bajo costo, pero se limita a manejar proyectos pequeños debido a los recorridos de ductos de inyección por zona. La mayoría de las unidades acondicionadoras de aire tipo paquete no cuentan con los instrumentos necesarios de control para una operación económica que puede construirse en los sistemas del doble ducto. Desde un punto de vista económico y práctico, el sistema multizona maneja normalmente más de un local con un solo ducto y es apreciablemente más bajo y por consiguiente más fácil de justificar. El equipo paquete multizona normalmente se limita a cerca de 12 zonas. Las nuevas unidades multizona que están ahora disponibles en el mercado, tienen calefacción individual y serpentines de enfriamiento para cada ducto de inyección de cada zona. Estos nuevos tipos de uso de las unidades usan menos energía que las unidades con serpentín común. El aire de inyección es calentado o enfriado al grado requerido para alcanzar la carga de la zona.

1.4.6 Sistema de volumen de aire variable (VAV)

Es importante hacer énfasis que el término “volumen de aire variable”, que es empleado y aceptado en el medio y que se emplea en el presente trabajo, pero técnicamente debe entenderse como “sistema de caudal de aire variable”.

Este sistema VAV consiste en variar el caudal de aire requerido en un local acondicionado conforme las variaciones de carga manteniendo constante la temperatura del aire de inyección, lo cual dependerá de diferentes variables, como son, uso del local, orientación y hora, entre otros. El control de temperatura en un local requiere equilibrio entre la carga térmica del local y el caudal de aire suministrado para compensar dicha carga. Durante el proyecto, se debe decidir entre variar la temperatura del aire de inyección (volumen

constante) o variar el volumen de aire de inyección (volumen variable) conforme las variaciones de carga del local acondicionado.

El sistema VAV se emplea en cuartos donde la carga térmica es variable a lo largo del día en múltiples áreas, principalmente en zonas interiores y zonas perimetrales de un cuarto de control. El sistema VAV puede aplicar a la variación del caudal del sistema principal y/o en las zonas independientes por medio de cajas de control de volumen de aire variable. Es posible variar el caudal de aire de una zona mientras se mantiene el caudal del ventilador de inyección constante, descargando el exceso de aire en un control se emplean principalmente en sistemas de expansión directa.

En la figura 1.7 se muestra un sistema VAV típico. Este sistema está encontrando aceptación en una amplia gama de aplicaciones, ya que ofrece ventajas de ahorro de energía de hasta 50% con respecto a otros sistemas. El recalentamiento en el sistema VAV tiene el objetivo de permitir el control de zonas con carga diferentes (calefacción o enfriamiento) en las áreas perimetrales con diferentes orientaciones.

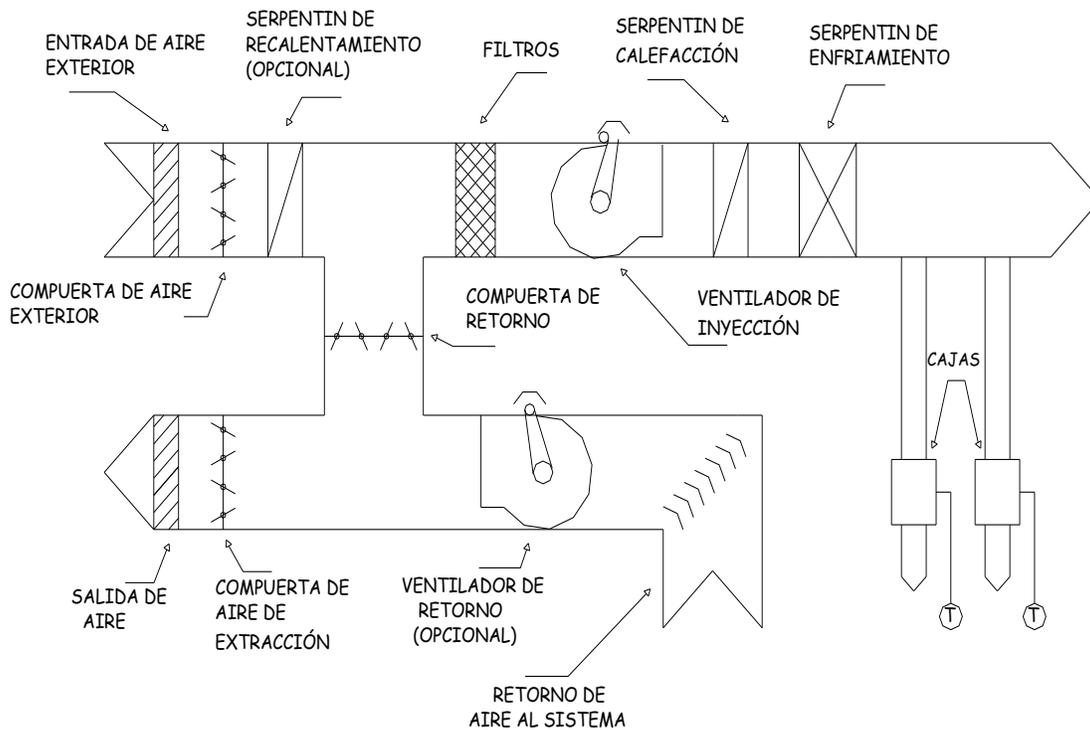


Figura 1.7. Sistema de volumen de aire variable típico

1.5 BALANCE TERMICO

Se define balance térmico, a la cantidad de energía que se requiere vencer en un área para mantener determinadas condiciones de temperatura y humedad para una aplicación específica (ej. Confort humano). Es la cantidad de calor que se retira de un espacio definido, se expresa en BTU, la unidad utilizada comercialmente relaciona unidad de tiempo, **Btu/hr**.

El balance térmico en general de cualquier local, siempre ha de ser obtenido con arreglo a la aplicación rigurosa y sistemática formula, a través de la ecuación:

$$Q = S \times K \times \Delta t^{\circ}C$$

Si aplicamos en cada local la formula anterior para cada una de sus paredes limitadoras, suelos y techos, llegaremos a la cifra del cúmulo total de sus necesidades térmicas. Esto, para cualquier época del año.

Pero antes de empezar con las operaciones de cálculo, es necesario establecer ciertas condiciones o parámetros de base, como por ejemplo, las temperaturas de consigna, básica tanto para el interior de los locales como para el exterior de los mismos, circunstancia que no podría ser omitida, ya que difícilmente se encontraría la diferencia de temperatura o $\Delta t^{\circ}C$.

A continuación procederemos a cuantificar métricamente todas y cada una de las superficies en juego de un local. Se expresan en (m²), dando así razón de ser a lo que ya sabemos representa el símbolo (S) a lo largo y a lo ancho de todas las superficies que hayan de intervenir, por lo menos, en cada una de las ecuaciones de base.

Seguidamente, pasaremos al análisis de la naturaleza, lectura y espesor particular de cada una de las paredes o superficies de contacto, que deban entrar en este proceso de cálculo calorimétrico conminas al establecimiento de valor numérico que debamos de fijar al coeficiente (K) de trasmisión de calor.

Sin lugar a dudas, lo expuesto es un procedimiento más útil para la época de invierno, en calefacción que para la época de verano.

Efectivamente, el invierno, sumando todas lo balances de pérdidas de temperatura (Q), más las pérdidas en concepto de infiltraciones o de ventilaciones incontroladas del aire exterior a bajas temperaturas, queda engrosada la carga total de pérdidas que debamos tener en cuenta, con lo cual el cálculo es bastante controlable.

Sin embargo, no ocurre lo mismo en la época de verano, con la utilización de estos últimos parámetros de cálculo. De esta manera, la carga total de ganancias resultaría de todo incompleta. Esto lo explican las razones que siguen a continuación.

1.5.1 para el invierno

- a) pérdidas por transmisión, debido al empleo de la ecuación anterior.
- b) pérdidas por ventilación e infiltraciones incontroladas del aire frío exterior.

1.5.2 para el verano

- a) y b) siguen siendo igualmente válidas, aunque con la inversión lógica de: invierno a verano.
- c) Ganancias de calor, debido a la presencia de personas en su interior.
- d) Radiación solar directa o indirecta.
- e) Ganancias por alumbrado eléctrico, marcha de motores, resistencias eléctricas, entre otras.
- f) Combustiones y otros focos de producción de calor.
- g) Ventilaciones mecánicas o extracciones de aire.

Se ve, pues, que la calorimetría en la época de verano, es mucho más complicada y laboriosa que la de invierno para llegar a un cálculo exacto.

Hecha esta aclaración, cabe hacer la siguiente puntualización respecto a la época de invierno.

Los apartados c) d) e) y f) que figuran como contingentes de carga a combatir en la época de verano, también existen en la época de invierno. El hecho de haberlos omitido en dicha época es porque en el invierno los citados conceptos (c, d, e, f), no tienen el mismo relieve que en la época de verano.

Generalmente, en invierno, si sólo se trata de calefaccionar los locales, ni siquiera se calcula el calor que aportan los referidos conceptos. Por lo contrario, dicha ganancia térmica se suele dejar a favor de los propios locales, pues la propia sectorización por fachadas, o los sistemas de regulación automática, se encargan de administrar a favor del conjunto total de la instalación.

Por ahora, apartándonos de cualquier consideración estacional, ya sea de invierno o de verano, es conveniente que volvamos de nuevo al terreno operacional de la ecuación del balance térmico.

Ya se ha señalado que para la obtención de un correcto balance térmico (Q), hay que dar a los otros términos o factores: $S - K$ y Δt , valores más o menos correctos.

Por ejemplo, en el caso de S , y en cuanto a su valor en metros cuadrados, dicha cifra viene dada por las magnitudes de los siguientes objetos:

- Puertas. Ventanas. Muros exteriores.
- Suelos. Techos. Forjados a la intemperie, y techos bajo cubierta.

Las pérdidas de calor por renovación de aire, debido a infiltraciones y a ventilaciones incontroladas, se suelen calcular por estimación personal del proyectista de la instalación, porque en este terreno, los datos técnicos han de ser avalados por la experiencia antes de construir la zona a acondicionar.



Figura 1.8. El balance térmico en construcciones con acondicionamiento de aire

En cuanto al coeficiente K de transmisión de calor, se vera mas adelante, donde expondremos su razón de ser, su naturaleza y desarrollo. Insistiremos en este último punto, debido a que los técnicos al dedicarse a calcular las instalaciones, no se suelen detener en la elaboración del mismo, limitándose a escoger el (K) de cualquier libro o tratado al uso sobre instalaciones. En esta tesis se nos proporciono el *estimado de la carga térmica del IMP según la norma NOM-018-ENER -1997*.

Sin embargo, en cuanto al factor: Δt° , hay que señalar que procede de la comparación de dos bloques o entornos de temperatura y no del mismo nivel, es decir, uno con más temperatura que el otro. La operación consiste en hacer una simple resta aritmética, que es la siguiente:

$$\text{Temperatura interior } ^\circ\text{C} - \text{Temperatura exterior } ^\circ\text{C} = \Delta t^\circ\text{C}$$

CAPÍTULO

SEGUNDO

**CRITERIOS PARA LA
SELECCIÓN DE EQUIPO**

2.1. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Hay un gran número de variantes en los sistemas de acondicionamiento de aire, y en las formas en que se pueden usar para controlar el ambiente en una construcción. El ingeniero debe tener en cuenta las particularidades de cada sistema en cada aplicación, y decidir cuál es la mejor selección. Los cambios de carga, las necesidades de zonificación, el espacio disponible y los costos son algunas de las variables que determinan qué tipo de sistema se ha de emplear

El objetivo de instalar un sistema; es crear un ambiente agradable en un determinado espacio, en el cual los ocupantes tengan confort, logrando, como ya se menciono, un control simultaneo entre las condiciones de humedad, temperatura distribución y pureza del aire.

El aire es transportado por ductos desde el acondicionador (en donde es limpiado, y es enfriado posteriormente a través de un serpentín) hasta llegar a los difusores que se sitúan en el espacio, ya sea en el techo o en alguna pared.

Los sistemas de refrigeración para enfriamiento de aire se dividen en dos tipos básicos que varían en la forma de obtener el enfriamiento del espacio acondicionado. Estos tipos son: expansión directa y agua helada.

En el sistema de expansión directa, la unidad se encuentra ubicada en el espacio acondicionado o junto a él, esta unidad tiene todos los elementos para producir el enfriamiento de aire.

Dentro de los sistemas se encuentran: la unidad tipo ventana, unidad tipo paquete y el sistema dividido. El ingeniero deberá tomar el mejor criterio dependiendo del lugar a acondicionar

Estos sistemas cuentan con: una toma de aire exterior, una toma de aire de retorno, filtros, ventilador, rejillas para distribuir el aire en cada espacio acondicionado y el aparato de refrigeración que consta de; compresor, condensador, enfriador y tuberías. Y en caso de que se requiera mayor capacidad, se pueden agregar ductos para distribuir el aire en espacios de mayores dimensiones.

En este tipo de sistemas, el aire se enfría al hacerlo pasar por una fuente de enfriamiento, que por lo general es un serpentín de tubos que contiene un fluido enfriado por un equipo de refrigeración. Cuando el aire enfriado de suministro entra a la habitación, está se enfría.

Los conductos de retorno sirven para recircular el aire, esté se vuelve a enfriar y se inyecta nuevamente. La toma de aire se emplea para tener una mejor calidad de esta introduciendo aire fresco por esta. Los filtros que se llegan a incluir, se utilizan para limpiar el aire y deshumidificarlo.

En este sistema de agua helada, el aire es enfriado con agua fría o salmuera. Se suministra desde una fuente que se encuentra retirada del espacio acondicionado y se hace circular por los serpentines de una unidad terminal.

Este sistema se parece al acondicionado individual aproximándose al sistema central. Cada unidad consta de los siguientes elementos: una toma de aire exterior, una toma de aire de retorno, filtros, batería de enfriamiento, ventilador, rejillas para distribuir el aire en distintas zonas del espacio acondicionado, ductos para la distribución del aire en las zonas requeridas.

En cada unidad se introduce el aire a través de la pared, cada una de las unidades es combinada con una central o varias en donde se sitúan: el aparato de refrigeración en el cual se encuentran el compresor, condensador, enfriador, y tuberías; la bomba para la propulsión de agua o salmuera; la tubería para la circulación de agua o salmuera entre los intercambiadores de calor; una torre de enfriamiento para enfriar el agua del condensador.

Se utiliza una válvula, de agua que se encuentra en la batería de la unidad (batería-ventilador), para controlar la temperatura de la habitación. Esta batería-ventilador realiza la refrigeración.

La aplicación de estos sistemas es muy amplia ya que se utilizan en moteles por ejemplo, puesto que estos tienen varias habitaciones, también en centros médicos pequeños y en oficinas de fábricas.

La selección de un sistema dependerá de la correcta valoración de la carga térmica, es decir, que es necesario saber que tipo de carga predomina más, calor sensible o, latente, si esta dispersa o concentrada, variable o constante. Otros de los aspectos muy importantes para el acondicionamiento de aire son: el económico, las condiciones ambientales y el espacio a acondicionar.

2.2. UNIDAD MANEJADORA DE AIRE

La unidad manejadora de aire designa la combinación de serpentines, ventilador, filtros, compuertas y caja. A veces se le llama también aparato central de acondicionamiento de aire. Hay básicamente dos dispositivos: unidades unísonas y unidades multizonas como se ve en la figura 2.1. En las secciones anteriores [1.4.3](#) y [1.4.5](#) se ha descrito la distinción entre ellas. En capacidades pequeñas y medianas, las unidades manejadoras de aire se arman en la fábrica por secciones: sección de ventilador, sección de serpentines, caja de mezcla y sección de filtros, en numerosos tamaños. Aquellas partes que se necesiten las selecciona el usuario. Para los sistemas grandes el ingeniero selecciona por separado los serpentines, filtros y ventiladores, y las cajas las fabrica el contratista de acuerdo con el equipo.

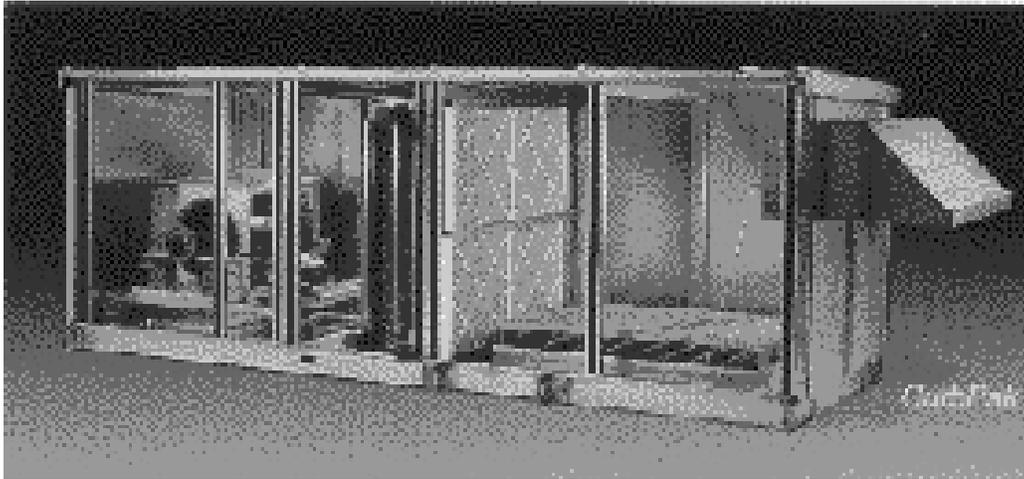


Figura 2.1. Unidad Manejadora de Aire tipo CurbPack

Las cajas se hacen en general de lámina galvanizada. Deben estar aisladas para evitar pérdidas de energía. Cuando el equipo es de enfriamiento y deshumidificación, se deben incluir charolas bajo los serpentines para recibir la humedad condensada, y se le debe conectar una tubería de drenaje, que termine en la salida adecuada. El tubo debe tener una trampa de sello honda para que siempre exista un sello de agua (figura 2.2).

Se deben incluir puertas de acceso para permitir el mantenimiento. Deben estar ubicadas en ambos lados de los serpentines y los filtros. En los equipos grandes, se deben instalar focos dentro de cada sección.

Cuando el ventilador se instala corriente abajo del serpentín de enfriamiento, a la unidad se le llama de *succión*. Cuando se conecta corriente arriba los serpentines se llama *soplador*. Es preferible el de succión porque el aire fluye de modo más uniforme a través del serpentín si el ventilador lo succiona. Las unidades de multizonas son del tipo de soplador. Para ayudar a distribuir más uniformemente el aire a través de los serpentines de calefacción y enfriamiento en las unidades de soplador, a veces se coloca una placa perforada entre el ventilador y los serpentines.

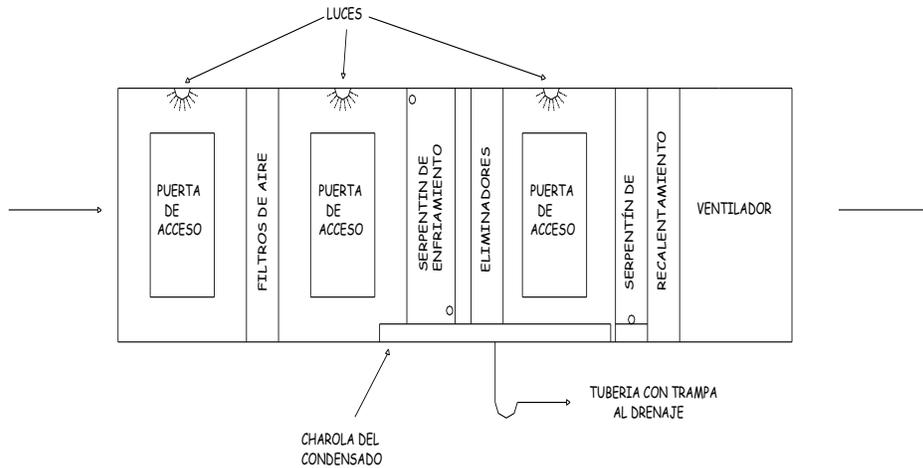


Figura 2.2. Accesorios para mantenimiento en una Unidad Manejadora

Últimamente se ha introduciendo la más nueva innovación de Carrier de la familia AERO la línea de manejadoras de aire 39R para grandes flujos de aire. Ahora usted puede cumplir sus necesidades de manejo de aire a gran escala con solo una unidad en lugar de múltiples unidades pequeñas y obtener todas las características que espera en una manejadora de aire central.

Se diseñaron con la mejor calidad y durabilidad, la 39R combina las avanzadas características y alta calidad de construcción por las cuales la marca Carrier es conocida. Con más de un siglo de experiencia en sistema de aire acondicionado, Carrier construye todos sus equipos con un desempeño y confiabilidad notables, y las nuevas unidades manejadoras de aire centrales no son la excepción y sus características son las siguientes:

1. Firme construcción con paneles de 2 pulgadas de espesor para aplicaciones en interiores.
2. Unidades disponibles en acero galvanizado, acero inoxidable o aluminio.
3. Recubrimiento antimicrobial.
4. Doble charola de condensados inclinada de acero inoxidable asegura un drenado apropiado y cumple con el estándar ASHRAE 62.
5. Serpentes montados en guías e individualmente removibles.
6. Película Tedlar® opcional disponible para protección del aislamiento de los paneles.
7. Calidad asegurada ISO 9001:2000.

Fue construida para alta caída presión estática de hasta 8 in. wg. (8 pulgadas columna de agua), con fugas de aire menores al máximo permisible por el estándar clase 3 SMACNA de fugas de aire y/o menos de 1% del flujo de aire nominal de pérdida.

Características de instalación y mantenimiento:

1. Amplia puerta de acceso a la sección de ventilación permite darle servicio al motor o incluso removerlo de manera fácil.
2. El arreglo del ventilador provee amplio espacio para brindar mantenimiento a los cojinetes opuestos a lado de la transmisión.
3. Secciones de filtros planos tienen puertas de acceso en uno o ambos lados de la unidad.
4. Una base deslizable de doble ajuste provee el alineamiento apropiado y un ajuste en la tensión de la banda de la transmisión.
5. La sección blow-through tiene dos paneles de acceso que permiten acceder al pleno anterior y posterior del serpentín de enfriamiento.
6. Filtros de reemplazo lateral tienen puerta de acceso en uno o ambos lados.

Diseño flexible, compacto y con versatilidad ilimitada:

1. Las unidades están preparadas para presiones diferenciales de hasta 8 pulgadas columna de agua de caída de presión estática.
2. Todos los paneles son construidos con un espesor mínimo de 2 pulgadas (50 mm) de doble pared con aislamiento interno de fibra de vidrio. El aislamiento deberá tener una resistencia térmica.
3. Las paredes exteriores de los paneles deberán ser de acero galvanizado de calibre 18 (18-gage G-90), paredes interiores deberán ser de acero galvanizado y tener un calibre mínimo de 22 (22-gage G90) y podrán ser perforadas o sólidas.
4. Todos los paneles se sujetarán internamente y, externamente sellados con un compuesto de poliuretano para asegurar un completo y visible sellado.
5. Aisladores deberán ser sísmicos, con pernos nivelables y tacones de neopreno, seleccionados para una eficiencia de aislamiento mínima de 95% con una distorsión de frecuencia rotativa a 600 rpm.

Sin embargo, el clima, la humedad, la contaminación y la corrosión afectan la condición, la operación y la vida útil de las unidades manejadoras de aire. El programa de recubrimiento se puede hacer a la medida en que los propietarios lo requieran y en las condiciones en que se encuentre la unidad manejadora de aire.

La Renovación incluye lo siguiente:

1. Limpieza química.
2. Remover aislante usado y colocar nuevo aislante.
3. Aplicación de recubrimiento en la estructura metálica.
4. Limpieza y recubrimiento de baterías de refrigeración.
5. Cambio soporte, polea y banda.

6. Cambio de filtro.
7. Remover los residuos de la limpieza en un depósito adecuado.
8. Instalación de marcos de acero inoxidable para filtros.

Junto a la limpieza del sistema, se puede dar tratamiento a la charola de desagüe con un nuevo recubrimiento el cual previene inundaciones y daños posteriores en muebles o techo.

2.3. UNIDAD PAQUETE INTEGRAL

Este sistema entra en la clasificación de los sistemas *unitarios*, esta clasificación no es de acuerdo a cómo funciona el sistema, sino a cómo está dispuesto el equipo. Un sistema unitario es aquel en el cual los componentes del acondicionamiento de aire están seleccionados de fábrica y empaquetados. Este sistema se ubica en general cerca del recinto por acondicionar. Puede ser en teoría de sólo aire, de solo agua o de agua y aire, pero en la práctica los sistemas unitarios son en general de sólo aire, y están limitados principalmente a los tipos más sencillos, como de unizona con o sin recalentamiento o multizona. Esto se debe a que están armados en la fábrica en base a volumen. Se pueden dividir en los siguientes grupos:

1. unidades de recinto
2. acondicionadores unitarios
3. unidades de techo

2.3.1 unidades de recinto

Las unidades de recinto (Fig. 2.4) se consiguen de dos tipos: unidades de *ventana* y unidades de *pared*. La unidad de ventana ajusta a una abertura en el marco de una ventana existente, descansa en el umbral. Las unidades de pared encajan en una abertura de pared exterior, en general bajo el umbral de la ventana

En la caja de la unidad están armados el compresor, evaporador, serpentín de enfriamiento, condensador, filtro, motores, ventilador y controles. Se pueden ajustar las compuertas para que solo se use el aire del recinto, o para que pueda entrar algo de aire de ventilación al acondicionador. Las unidades de recinto se consiguen hasta 3 toneladas de capacidad de refrigeración. Sus ventajas son su bajo costo y simplicidad de instalación y operación. Las unidades de ventana se aplican especialmente en las construcciones existentes. Las unidades de pared se usan con frecuencia en casa de apartamentos nuevas, donde es más importante el bajo costo. Es natural que el servicio eléctrico de las construcciones existentes pueda tener que aumentarse para tomar la carga eléctrica adicional.

Las unidades de ventana no tienen flexibilidad para manejar altas ganancias de calor latente, o relaciones variables de calor sensible, y por lo tanto no proporcionan un buen control de la humedad. Los niveles sonoros son mayores que los que produce el equipo remoto. La calidad de limpieza del aire es mínima, porque los filtros sólo eliminan las

partículas grandes para que sea la resistencia al flujo de aire. Cuando se usan en construcciones de recinto múltiples, el mantenimiento del gran número de unidades puede ser tedioso y caro. Estas unidades son inherentes consumidores de energía en usos múltiples, porque no pueden modular su capacidad.

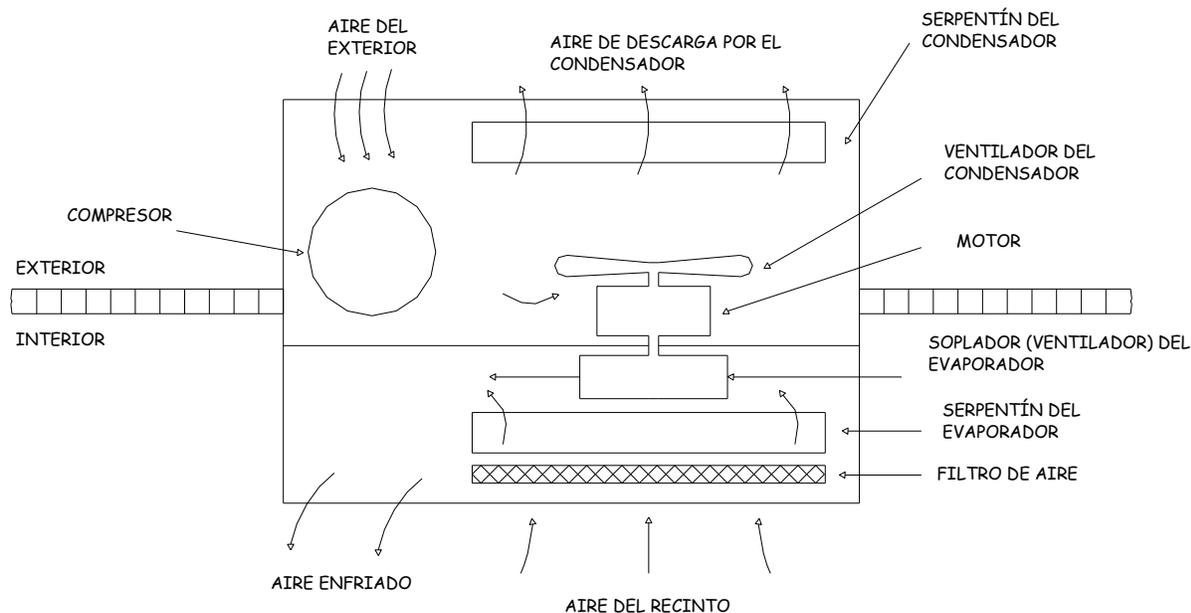


Figura 2.3. Disposición de un equipo acondicionador de aire del recinto

2.3.2 acondicionadores unitarios de aire

Fueron diseñados para instalarse dentro o cerca del recinto a condicionar (Fig. 2.4) los componentes están dentro de la unidad. A veces se incluyen los componentes de calefacción. Se consiguen en forma vertical u horizontal, de acuerdo con el espacio disponible para el equipo. Aunque con frecuencia descargan directamente el aire al recinto, se les puede conectar algo de ductería si se desea distribuir de aire con salidas. Estas unidades son comunes en aplicaciones comerciales pequeñas.

Hay unidades que tienen todos los componentes en el paquete, excepto el condensador. Esto se acostumbra mucho en las aplicaciones para residencias privadas. El condensador está en el exterior y el compresor, serpentín y ventilador en un tapanco o sótano. El compresor y el condensador están en un solo paquete, ubicado en el exterior, y el ventilador y el serpentín de enfriamiento en otro paquete en el interior. Esto se acostumbra mucho en las pequeñas bombas de calor residenciales.

Tienen las mismas ventajas y desventajas que las unidades de recinto. Sin embargo en unidades más grandes se usan compresores múltiples. Hay unidades hasta de unas 50 toneladas.



Figura 2.4. Acondicionador unitario de aire

2.3.3 unidades de techo

Esta diseñado para instalarse en el exterior y generalmente se instalan en techos. Con frecuencia, todo el equipo de refrigeración y manejo y el condensador pueden estar alejados. Puede incorporarse equipo de calefacción a la unidad.

Las unidades de techo se pueden usar con ductería y salidas de aire. Deben tener características impermeables, que no se necesitan en el equipo que trabajan en el interior. Todas las partes eléctricas deben ser a prueba de humedad y la caja demás partes expuestas deben estar protegidas contra la corrosión.

Su principal ventaja es que no ocupa lugar en la construcción, que son de costo relativamente bajo. Hay unidades con disposición multizona, con lo cual ofrecen controles de zona, pero el control de humedad está limitado. Los sistemas de techo son muy usados en construcciones de bajo costo y de un piso, como los supermercados y construcciones comerciales Suburbanas.

2.4. UNIDAD CONDENSADORA

Las unidades condensadoras eliminan del sistema la energía ganada en el evaporador y el compresor. El aire atmosférico o agua son los sumideros de calor más convenientes para desecharlo.

En las unidades condensadoras enfriadas por aire el refrigerante circula a través de un serpentín y el aire pasa por el exterior de los tubos. El movimiento del aire se origina mediante efectos de convección natural, cuando se calienta el aire, o bien la condensadora puede tener un ventilador para aumentar, la velocidad de este, con lo cual se obtiene mayor capacidad. En general las condensadoras enfriadas por aire se instalan por el exterior. Este quipo se compone de un compresor y un condensador este último que mencione es el intercambiador de calor.

Para seleccionar estas unidades, es necesario seguir lo siguiente:

- a) El cálculo de la carga térmica se debe desglosar en carga térmica total y en sensible.
- b) Se requiere conocer el flujo volumétrico total.
- c) Se deben conocer sus temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo ó el porcentaje de humedad relativa.
- d) Con los datos de volumen y las condiciones de diseño se calcula la calidad de aire de la mezcla del aire a la entrada del serpentín evaporador, (T_{bs}, T_{bh}, HR).
- e) Deben ser consideradas las localizaciones relativas entre la condensadora y la manejadora, ya que las tablas de capacidades, solamente incluyen tolerancia por caída de presión en las líneas de refrigerante hasta 12 metros de longitud y no más de 5 codos o dobleces.
- f) Cantidad de aire exterior.
- g) Corriente disponible.

A continuación se presenta el tipo de unidades condensadoras, el cual se encuentran en el mercado actual.

Las unidades condensadoras de instalación para exteriores con compresor hermético modelos actuales están diseñadas para operar a temperaturas ambientes elevadas de hasta 45°C , ya que cuentan con un condensador de amplia superficie de rechazo de calor con tubos con ranurado interior y de compresores herméticos de alto rendimiento.

-Modelos MBHX

Las MBHX son unidades condensadoras aprobadas, que se ofrecen en la versión equipada e incluyen:

- ❖ *Compresor Optima CRKQ Copeland para refrigeración tipo hermético de alto rendimiento y bajo nivel de ruido
 - ❖ *Motores del ventilador de alta eficiencia (todas las unidades llevan doble ventilador para más eficiencia y seguridad)
 - ❖ *Serpentín del condensador de tubos de cobre y aletas de aluminio de alta eficiencia de rechazo de calor,
 - ❖ *Gabinete pintado para mejor estética y protección contra la corrosión, color beige Brillante
 - ❖ *Base metálica resistente galvanizada
 - ❖ *Protección en el cableado eléctrico
 - ❖ *Caja de conexiones eléctricas
 - ❖ *Contactor magnético (y componentes de arranque dentro de la caja eléctrica para los compresores monofásicos).
-
- ❖ *Calefactor de cárter desde 1 1/2 HP hasta 5 HP en alta y media temperatura y en todos los modelos de baja temperatura
 - ❖ *Filtro deshidratador de la línea de líquido
 - ❖ *Cristal mirilla
 - ❖ *Válvula de pie de la línea de líquido
 - ❖ *Tanque recibidor vertical con válvula de salida
 - ❖ *Control de alta presión encapsulado de restablecimiento automático para eliminar fugas
 - ❖ *Control de baja presión de ajuste manual
 - ❖ *Válvula de pie en la succión
 - ❖ *Con filtro de succión
 - ❖ *Con acumulador de succión
 - ❖ *Con separador de aceite



TTK 509 v 512



TTK 518 - 536

Figura 2.5. Unidad Condensadora tipo TTK del 9.000 hasta 36.000 BTU/h Sistema Dividido

Confiabilidad

La historia de Trane respecto al liderazgo en cuanto a la innovación y la tecnología, ha conducido al desarrollo de productos de calidad, colocando a Trane como uno de los líderes en los mercados de aire acondicionados mundiales. El compromiso de Trane para con las necesidades de calidad de los clientes, eficiencia y confiabilidad, se hace patente a partir de su enfriadora más grande, hasta su unidad condensadora TTK más pequeña.

Información General (Características)

Estas unidades condensadoras son muy compactas, silenciosas y resistentes. Sus componentes principales son: compresor, ventilador, serpentín del condensador y rejillas de protección.

- Moto-ventilador axial.
- Compresor rotativo (modelos 509 al 524) o compresor scroll - (modelos 530 al 536).
- Carga de refrigerante R22
- Bandeja de condensados integrada (modelos 509 al 536).
- Serpentín con aletas de aluminio y tubos de cobre.
- Rejilla de protección de ventilador y serpentín del condensador.
- Válvula de servicio multi-función con orificio, trabajando como elemento de expansión.

2.5. UNIDAD ENFRIADORA DE AGUA

La unidad enfriadora de agua opera mediante el ciclo de refrigeración a base de la compresión de un vapor, y lo que específicamente realiza es extraer el calor de un espacio y rechazarlo posteriormente a otro espacio seleccionado. Para ello cuenta con cuatro componentes básicos y un fluido conocido como refrigerante que circula entre ellos.

En el **Evaporador** se absorbe el calor para nuestro caso; se absorbe calor del agua y al hacer esto, baja su temperatura. Al desarrollar este proceso, el fluido que circula (el refrigerante) se evapora y lo toma el **Compresor** donde se le eleva la presión y la temperatura, para luego rechazar en el **Condensador** el calor absorbido a un medio seleccionado, en nuestro caso agua.

Al rechazar el calor el refrigerante se condensa y pasa al dispositivo de control donde se le baja la presión y la temperatura y está listo para absorber calor nuevamente en el evaporador.

En la parte exterior de la casa de máquinas se encuentra un equipo que se le conoce con el nombre de **Torre de Enfriamiento**. La misma es necesaria ya que como hemos indicado anteriormente, el calor que se rechaza en el enfriador lo rechazamos al agua (Ciclo de Condensación).

Por ejemplo hablemos de una nave Industrial en el que se encuentran instalados básicamente dos tipos de equipos que serán los encargados de extraer calor de las áreas que deseamos acondicionar.

En el área de Cuartos de Control los "fan coil", uno en cada cuarto. En el área de los salones se han instalado las denominadas unidades manejadoras de aire donde desde allí y a través de ductos llevan aire a los cuartos, el cual extraerá el calor y lo llevará a las unidades manejadoras de agua para que otro flujo (agua) lo absorba.

Ya nos hemos percatado que el sistema de aire acondicionado funciona con procesos meramente de intercambio de calor.

Si nos apoyamos en el siguiente esquema, le indicaremos el funcionamiento general del sistema. El agua fría (45 °F) la obtenemos de la unidad enfriadora de agua, la llevamos por medio de tuberías y con la ayuda de la bomba de agua fría a la Nave; de allí la hacemos pasar a través de las unidades manejadoras de aire y los "fan coil", regresa a la unidad enfriadora de agua para que se le extraiga el calor, como ya revisamos cuando describimos la operación de la unidad enfriadora de agua.

Por otro lado, en el ciclo de condensación, el calor que rechaza la unidad enfriadora de agua lo toma el otro ciclo independiente de agua y lo lleva a la torre de enfriamiento, utilizando la bomba de agua de condensación, donde el aire que allí circula se encarga de extraerle el calor y rechazarlo al ambiente exterior.

Es importante hacer notar que para que existan todos los procesos de intercambio deben existir los flujos ya sea de agua o de aire según sea el caso.

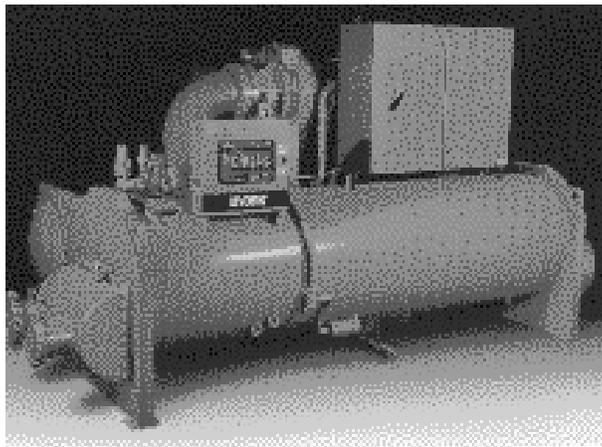


Figura 2.6. Unidad Enfriadora de Agua tipo Chiller Centrifugo Millenium

2.5.1 ¿Por qué utilizar este tipo de sistema?:

En estos momentos nos estaremos preguntando ¿Por qué utilizar un sistema con tantos dispositivos si existen otros más simples?

La respuesta es sencilla: Es cierto que este tipo de sistema requiere de mucho equipo y de una inversión inicial relativamente alta, pero cuando el mismo entre en operación, el consumo de energía eléctrica será significativamente menor que si hubiera instalado otro tipo de sistema.

En esta misma línea se recomienda que para sistemas de capacidades mayores de 150 toneladas de refrigeración, se utilice el sistema de expansión indirecta. (1 Ton de ref. = 12.000 BTU/hr).

2.5.2. El ciclo de compresión del vapor:

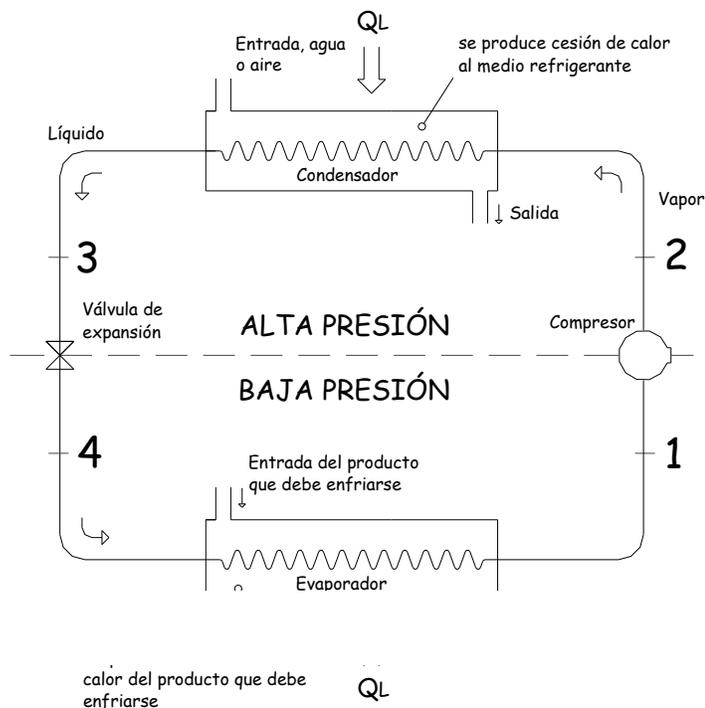
El trabajo mecánico para el ciclo de compresión del vapor acciona un *compresor*, que mantiene baja presión en un *evaporador* y una presión más alta en un *condensador*.

La temperatura a la cual se evapora un líquido (o se condensa un vapor) depende de la presión; así pues, si se hace trabajar la máquina con un fluido adecuado, éste se evaporará a una baja temperatura en el evaporador de baja presión (tomando calor de su entorno) y se condensará a una temperatura más alta en el condensador de alta presión (desprendiendo calor a su entorno).

El líquido de alta presión formado en el condensador precisa devolverse al evaporador con un gasto controlado.

El ciclo simple de refrigeración por compresión del vapor tiene por tanto cuatro componentes:

1. Un **evaporador** donde se absorbe el calor a una baja temperatura al evaporarse (hervir) un líquido (refrigerante) a baja presión.
2. Un **compresor** que utiliza una energía mecánica para aumentar la presión, por ende la temperatura del vapor.
3. Un **condensador** donde se condensa el vapor (gas refrigerante) de alta presión, desprendiendo calor a sus proximidades
4. Un dispositivo **reductor de presión** del líquido refrigerante, por medio de una válvula de expansión, de retorno al evaporador, y que además controla el caudal.



2.5.3. Refrigerantes

Para cada refrigerante existe una temperatura específica de vaporización asociada con cada presión, por lo que basta controlar la presión del evaporador para obtener la temperatura deseada. En el condensador existe una relación similar entre la presión y la temperatura. Durante muchos años, uno de los refrigerantes más utilizados fue el diclorodifluorometano, conocido como refrigerante-12. Este compuesto clorofluorocarbonado (CFC) sintético se transformaba en vapor a $-6,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ a una presión de 246,2 kPa (kilopascales), y después de comprimirse a 909,2 kPa se condensaba a $37,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En los refrigeradores pequeños empleados en las viviendas para almacenar comida, el calor del condensador se disipa a la habitación donde se sitúa. En los acondicionadores de aire, el calor del condensador debe disiparse al exterior o directamente al agua de refrigeración.

En un sistema doméstico de refrigeración, el evaporador siempre se sitúa en un espacio aislado térmicamente. A veces, este espacio constituye todo el refrigerador. El compresor suele tener una capacidad excesiva, de forma que si funcionara continuamente produciría temperaturas más bajas de las deseadas. Para mantener el refrigerador a la temperatura adecuada, el motor que impulsa el compresor está controlado por un termostato o regulador.

Los congeladores para alimentos ultra congelados son similares a los anteriores, sólo que su compresor y motor tienen que tener la potencia y tamaño suficientes para manejar un mayor volumen de refrigerante con una presión menor en el evaporador. Por ejemplo, para mantener una temperatura de $-23,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ con refrigerante-12 se necesitaría una presión de 132,3 kPa en el evaporador.

El refrigerante-12 y otros dos CFC, el refrigerante-11 y el refrigerante-22, eran los principales compuestos empleados en los sistemas de enfriamiento y aislamiento de los refrigeradores domésticos. Sin embargo, se ha descubierto que los CFC suponen una grave amenaza para el medio ambiente del planeta por su papel en la destrucción de la capa de ozono. Según el Protocolo de Montreal (Contaminación atmosférica: *Medidas gubernamentales*), la fabricación de CFC debía finalizar al final de 1995. Los hidroclorofluorocarbonos, HCFC, y el metilbromuro no dañan la capa de ozono pero producen gases de efecto invernadero. Los HCFC se retirarán en el 2015 y el consumo de metilbromuro se limitará en un 25% en 1998. La industria de la refrigeración debería adoptar rápidamente otros compuestos alternativos no perjudiciales, como el metilcloroformo.

CAPÍTULO

TERCERO

NORMAS PARA

EL CONTROL AMBIENTAL

3.1 LA NORMA ISA-S71.04-1985

La corrosión causada por el medio ambiente industrial ocasiona pérdidas millonarias en instrumental, equipos, instalaciones, líneas de fraccionamiento, y en especial a los cuartos de control. La determinación y monitoreo de la agresividad de un medio ambiente nos permite actuar sobre la corrosividad metálica y el control de especies tóxicas para el ser humano, animales y plantas.

La industria en general gasta millones de dólares anuales en reposiciones y reparaciones de instrumental, equipos e instalaciones, como consecuencia del manejo de un gran número de gases corrosivos y contaminantes. El polvo y gases eliminados por chimeneas y otras operaciones abiertas, también contaminan el medio con especies diversas que causan serios daños al propio ambiente de la planta o al medio ambiente que rodea las fábricas.

Los contaminantes aerotransportados y la presencia de humedad son los causantes de la corrosión atmosférica. Estas especies agresivas comprenden formas iónicas gaseosas derivadas del Cloro, Azufre, Nitrógeno, Amoníaco, Cianuros, otros y diversas partículas de polvo. Las partículas sólidas forman películas sobre las superficies, que crecen incorporando otros productos orgánicos e inorgánicos que dan origen a colonias de microorganismos del medio ambiente, lo que genera una reducción considerable de la transferencia de calor y un aumento en la velocidad de corrosión en condensadores, intercambiadores, disipadores, otros.

La necesidad de prevenir el deterioro, tomar precauciones o realizar protección electroquímica de equipos, aparatos, máquinas e instalaciones, requiere el conocimiento del ambiente que los rodea. También es posible determinar las especies agresivas de una atmósfera en zonas industriales y alrededor de industrias, y de esta manera conocer la especie y el nivel de la contaminación y sugerir modificaciones para evitarlas.

La presente tesis está dirigida a esta acción, que involucra el conocimiento de la agresividad de las especies aerotransportadas lo cual es función de la concentración y especie del contaminante. El campo de medida, control y prevención de la corrosión, cubre un amplio espectro de actividades y técnicas.

El método propuesto combina el uso de probetas de cobre y la aplicación de técnicas electroquímicas para el análisis de la película, espesor de la misma y determinación de las especies contaminantes. Este método utiliza técnicas rápidas y seguras, que permiten determinar y monitorear atmósferas industriales agresivas para la vida del hombre, animales y plantas, así como el diagnóstico y recomendaciones para proteger el equipamiento e instrumental de la propia industria.

Una de las técnicas más simple usadas para determinar y prevenir la corrosividad de los ambientes de procesos químicos, es la medida de la pérdida de peso de probetas metálicas expuestas al medio. Esto requiere periodos relativamente largos de tiempos de exposición de muestras, para obtener pérdidas de peso detectables por el método tradicional y con precisiones, relativas al tiempo y calidad de análisis. La eliminación de la película de productos del ataque así como el pesaje no son tareas que garanticen precisión de medida.

Las técnicas electroquímicas se utilizan para determinar y caracterizar propiedades de oxido-reducción de materiales. Existen métodos adecuados y precisos en esta disciplina para medir velocidades de corrosión y obtener información casi instantánea, por otro lado con periodos de exposiciones de probetas varias veces menor, en razón que la pérdida de peso no se realiza por la simple eliminación de la película con productos del ataque, sino por una técnica electroquímica que detecta cantidades mínimas de estos productos. Es un método general y puede aplicarse a zonas donde se quiere monitorear para asegurar la no existencia de especies peligrosas, o a lugares donde se desea controlar la corrosión y la contaminación con gases industriales y polvos.

La Sociedad Americana de Instrumentistas (ISA) ha creado especificaciones para controlar y combatir esos contaminantes ambientales y los ha clasificado en tres tipos: líquidos, sólidos y gaseosos. Dependiendo de las concentraciones de estos, ISA ha determinado niveles de corrosión, estableciendo rangos aceptables, asegurando de esta manera la confiabilidad del equipo electrónico.

Los contaminantes líquidos pueden corroer al equipo sin protección, los contaminantes sólidos pueden causar fallas mecánicas y los contaminantes gaseosos ocasionan también corrosión. El exceso de humedad y la alta temperatura aceleran de manera exponencial la corrosión causada por los gases ácidos.

El adecuado diseño del Sistema de Aire Acondicionado permite controlar los principales parámetros ambientales que pueden originar fallas dentro del Cuarto de Control como son: gases corrosivos, humedad, temperatura y polvo.

Esta tesis comprende el análisis y la aplicación de la Norma ISA-S71.04-1985, proporcionando los lineamientos necesarios para diseñar los sistemas de aire acondicionado adecuados que proporcionen la calidad de aire interior que requieren los cuartos de control regidos por esta norma.

Nomenclatura.

Å	Angstroms	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Microgramos por metro cúbico.
ASE	A ser especificados	μm	Micrón.
Km	Kilómetros.	<	Menor que
mm	Milímetros.	>	Mayor que
ppb	Partes por billón.	\geq	Mayor o igual que

Definición de Términos.

- Absorción.- La penetración de una sustancia dentro de la estructura interna de otra.
- Adsorción.- Adherencia de los átomos, iones o moléculas de un gas o líquido en la superficie de otra sustancia.
- Angstroms.- Es una diezmillonésima parte de un milímetro.
- ASHRAE.- Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.
- Desadsorción.- Proceso de remover un material adsorbente de un sólido sobre el cual está adsorbido.
- DOP.- Prueba con dioctyl-phthalato en forma de aerosol con partículas homogéneas de 0.3 micrones.
- Oxidación.- Una reacción en la cual el oxígeno se combina químicamente con otra sustancia.
- µm Es la milésima parte de un milímetro.

La tendencia actual en la industria de optimizar los procesos productivos, ha llevado a la necesidad de emplear equipo electrónico como parte principal de sus Sistemas de Control de Proceso.

Esto ha generado problemas que no se tenían cuando se utilizaban Sistemas de Control Neumáticos, como son: paros imprevistos, alarmas que no tienen causa aparente, variaciones en la operación de la planta sin causa justificada, calidades y cantidades de los productos fuera de normas y especificaciones, etc. Estos problemas no se limitan solo a los cuartos de control de proceso, sino también se han presentado en los equipos de los sistemas de cómputo que procesan y controlan la información administrativa y comercial.

Si las fallas de estos sistemas se presentan después de un período de tiempo de haberse instalado y operado los equipos, generalmente la causa se debe a una mala calidad de aire interior (básicamente la presencia de gases ácidos en el ambiente) que afecta los circuitos y las tabletas del equipo eléctrico y electrónico respectivamente, de los cuartos de control.

Estos gases favorecen dos tipos de corrosión: la primera es la aparición de moléculas de sulfuro que emigran libremente sobre la superficie metálica juntándose en las orillas donde la enucleación se acomoda y los cristales de sulfuro crecen fuera de la superficie del metal causando un mal contacto eléctrico; el otro tipo de corrosión, más convencional por cierto, ocurre cuando los gases ácidos reaccionan con los mismos metales para formar sales no conductoras, acumulándose estas sobre su superficie ocasionando una falla en el punto de contacto.

La corrosión puede atacar a los circuitos integrados, tarjetas de circuitos, contactos de relevadores, transformadores de control, arrancadores de motores y sistemas de instrumentación, virtualmente cualquier tipo y nivel de equipo.

El daño es irreversible, así que la mejor solución es prevenir y mantener una calidad aceptable del aire dentro de los cuartos de control, una vez que los sistemas de control electrónicos hayan sido instalados.

3.1.1 Clasificación de la agresividad del medioambiente.

A los efectos de clasificar el medio en base a su agresividad, se tendrá en cuenta el espesor de película y se ajustara a normas.

La norma ISA –S71-04 “ENVIROMENTAL CONDITIONS FOR PROCESS MEASUREMENT AND CONTROL SYSTEMS: AIRBORNE CONTAMINANTS” (Condiciones Ambientales para la Medición de Procesos y Sistemas de Control: Contaminantes Aerotransportados), fue publicada oficialmente en 1985.

Dichas especificaciones contienen la información más completa sobre el control de los tres tipos de contaminantes transportados por el aire: líquidos, sólidos y gases., clasifica los niveles de corrosión de los medios ambientales en los cuartos de control con instrumentación electrónica, en función de la presencia de elementos corrosivos, estos rangos corresponden a espesores de películas obtenidas después de 30 días de exposición,

3.1.2 contaminantes aerotransportados líquidos.

(Referente a la tabla 1)

- **Líquidos-** Son los líquidos que pueden corroer al equipo sin protección. Son transportados al equipo por la condensación, lluvia, salpicadura o fluidos atomizados de limpieza. La mayoría de estos no esta clasificado, solo que el fabricante especifique al momentos de manufacturar el equipo por la clasificación especial LX.
- **Vapores-** a veces algunos solventes aparecen como vapores, que pueden condensarse en pequeñas gotas corrosivas sobre los componentes electrónicos de los instrumentos y controles.
- **Aerosoles-** Los aerosoles son líquidos transportados en forma de aire o gas que producen pequeñas gotas que generan niebla o empañamiento.
- **Niebla de sal marina-** (Referente a la tabla 1)
- **Ejemplos generales-** (Referente a la tabla 1)

contaminante	clases de contaminantes
Tricloroetileno	LA2
aceites (cuartos de motor, estación del compresor)	LB1
especial (el contaminante se debe especificar)	LX3

Tabla I.- clasificación de contaminantes químicamente activos: aerosoles líquidos (medidos en $\mu\text{m}/\text{kg}$ excepto el ser especificado)

Contaminante	Nivel de Severidad (Concentración medida en ppb)				
	Clase	1	2	3	X (Especial)
Vapores	LA	< 1.0	< 5.0	< 20.0	≥ 20.0
Aceites	LB	< 5.0	50.0	< 100.0	≥ 100.0
Niebla de sal marina.	LC	Mas de 0.5 km. Tierra adentro	Menos de 0.5 km. Tierra adentro	Instalaciones marinas	ASE
Especial ASE	LX	ASE	ASE	ASE	ASE

Notas: 1.0 µg/kg = 1.0 partes por billón (p/10³)

A. S. E. = ser especificado

< Se define como "menor que"

> Se define como "mayor que"

≥ Se define como "mayor que o igual a"

3.1.3 Contaminantes aerotransportados sólidos

(Referente a la tabla 2)

- **En general-** Los contaminantes sólidos aerotransportados son generalmente partículas de polvo. El polvo es un contaminante universal y es una causa de fallas del equipo ambientalmente inducidas. Estas fallas pueden ser mecánicas, químicas, eléctricas, térmicas o magnéticas. Para maximizar la confiabilidad y vida del equipo debe realizarse todo esfuerzo para minimizar la exposición a este tipo de partículas aerotransportadas. La sensibilidad del equipo de control es de varias características especiales que varía extensamente. Las especificaciones deben incluir una descripción de estos tipos característicos si llegaran a ser irremplazables.

3.1.3.1 Características de las partículas que afectan el equipo

- **Permeabilidad magnética-** Las sustancias magnético permeables se pueden acumular en campos magnéticos; por ejemplo, los movimientos del galvanómetro puede ser seriamente limitados o enteramente inmóviles por la acumulación de sustancias magnéticas por el vacío de aire de los imanes permanentes. Asimismo, los motores eléctricos se pueden dañarse seriamente por los materiales magnéticos acumulados entre el rotor y el estator.
- **Conductividad térmica-** Las características aisladores termales de algunas partículas sólidas pueden causar el recalentamiento de los sistemas de enfriamiento (que se aíslan por los depósitos superficiales de estas sustancias). Por ejemplo, las aletas que se refrescan de la electrónica de energía se pueden aislar seriamente por las fibras del textil.

- **Conductividad eléctrica-** Las sustancias sólidas se dividen en dos grupos, los buenos conductores eléctricos y las sustancias altamente aislantes.

Los conductores eléctricos tales como metales, los negros de carbón, y el polvo de carbón que pueden causar corto circuito al colocarse entre las terminales.

Las sustancias aisladores pueden acumular las cargas estáticas revertiendo el funcionamiento de computadoras y de circuitos integrados. Algunos aisladores fijan la humedad por adsorción bajo condiciones de la alta humedad relativa. Esto causa un aumento en la conductividad y puede dar lugar a fallas en el equipo debido a la salida eléctrica.

- **Adherencia-** Característica de cualquier contaminante capaz de adherirse a y acumularse en superficies. Esto intensifica efectos indeseables tales como el aislamiento térmico, el alta voltaje de descarga, y fallas en los cojinetes. Las calidades adhesivas pueden ser inherentes al contaminante, tal como humo del tabaco, que contiene alquitranes pegajosos.
- **Productos químicos-** Diferentes partículas de materia aerotransportada de estructuras cristalinas duras tales como minerales metálicos con estructuras porosas suaves tales como polvo, cenizas volantes, y humo atmosférico. Estas partículas porosas con tamaños menos de un micrómetro pueden adsorber gases contaminantes y la humedad. Esto puede causar la falla de equipo debido a la corrosión acelerada.
- **Abrasividad-** La abrasividad es un factor significativo en la erosión mecánica por velocidades altas de contaminantes sólidos. También contribuye al desgaste acelerado de piezas móviles.

La siguiente tabla nos muestra las partículas sólidas por clasificación y tamaño. El ambiente se debe describir en términos del nivel de la severidad de la concentración para cada clase, clases SA a través de SD.

Tabla II.- clasificación de partículas aerotransportadas sólidas

		Nivel de Severidad (concentración medida en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
Tamaño de Partícula	Clase	1	2	3	X
> 1 mm	SA	< 1,000	< 5,000	< 10,000	$\geq 10,000$
100 μm a 1000 μm	SB	< 500	< 3,000	< 5,000	$\geq 5,000$
1 μm a 100 μm	SC	< 70	< 200	< 350	≥ 350
< 1 μm	SD	< 70	< 200	< 350	≥ 350

Notas: μm = micrómetro = 0.001 milímetros
 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ = microgramo por metro cúbico

3.1.4 contaminantes aerotransportados gaseosos

(Referente a la tabla 3)

- **Reactividad**– Se emplean dos métodos para obtener las características del ambiente. Uno es una medir directamente los agentes gaseosos contaminantes seleccionados del aire.

La otra, se puede llamar "reactividad monitoreada," y esta nos proporciona una medida cuantitativa del potencial total de la corrosión del ambiente.

El análisis de la contaminación puede proporcionar las estimaciones a corto plazo para lugares específicos. Sin embargo, los altos valores confirmarán que existe un ambiente severo. En caso, si las pruebas nos dan valores diferentes a lo esperado diremos que es falso. Los ambientes industriales pueden contener una mezcla compleja de contaminantes que interactúan con gran aceleración (o retraso) sobre la acción de la corrosión en especies individuales de gases.

Para evitar dificultades en la práctica, lo más común o natural en ambientes industriales es definir en los periodos a razón en los cuales reaccionen con el cobre. Como una medida directa de potencial total de la corrosión, se monitorea y se aplican cupones de cobre especialmente preparados para ambientes donde existe maquinaria en funcionamiento. El cobre se ha seleccionado como el material ideal porque en el se forma una película de corrosión. Además de ser particularmente útil para la caracterización ambiental. Los análisis pueden consistir en *medir del espesor de la película, información sobre la composición de la película, o de la pérdida del peso*. La sensibilidad en las técnicas divulgadas está en conformidad con la gama requerida para los datos significativos del uso.

Cuatro niveles de severidad de la corrosión se establecen en la tabla 3. Los niveles de concentración de algunos gases que contribuyan a las tarifas de reactividad también se citan.

3.1.4.1 Efectos contaminantes

Cada sitio puede tener diversas combinaciones y niveles de concentración de contaminantes gaseosos corrosivos. La degradación del funcionamiento puede ocurrir rápidamente o puede tardar muchos años, dependiendo de los niveles y de las combinaciones particulares de concentración presentes en el sitio.

Los párrafos siguientes describen cómo los agentes contaminantes contribuyen a la degradación del funcionamiento del equipo.

- **Humedad relativa** – La alta humedad relativa acelera la corrosión causada por los gases contaminantes de manera exponencial. Igualmente importante es el reconocimiento del hecho de que las fluctuaciones de la temperatura afectan dramáticamente humedad relativa e inducen a menudo la condensación local.

Aunque el agua es universal y siempre esta presente en las atmósferas industriales, la concentración varía extensamente. A causa de esto existe la degradación corrosiva del equipo y se manifiesta principalmente de tres maneras descritas abajo.

- 1) **Directamente**, como a los metales y plásticos que ataca por medio de reacción química plásticos
 - 2) Por **interacción** con otros componentes atmosféricos, en la mayoría de los casos se forman por combinaciones de reacciones. Un ejemplo de esto es dióxido de sulfuro, SO₂, que combina con agua para formar el ácido sulfuroso.
 - 3) **electroquímicamente**: Muchas especies cuando están disueltas en agua forman una solución conductora. Cuando las diferencias potenciales eléctricas existen entre dos metales distintos, las condiciones para los procesos electrolíticos o corrosión galvánica se instalan. Éstos son diferentes fenómenos, pero ambos son causados y/o son promovidos por un electrolito.
- **influencias biológicas**– la flora y fauna son componentes importantes en el ambiente en el cual se espera que la medida del control en los procesos industriales funcione correctamente.

Por ejemplo, los insectos pueden causar paradas inesperadas a los equipos neumáticos bloqueando todas las aberturas del respiradero. También se ve afectado el material aislante mordiendo los cables de los equipos a consecuencia de roedores y cucarachas, entre otros.

También se debe considerar la acumulación de hongos, animales muertos, o diferentes insectos lo que puede causar fallas tanto mecánicas como eléctricas en el equipo.

El tema de la flora y fauna entra en una clasificación general y para nosotros no es muy útil. Sin embargo el crecimiento de cualquier vegetal o vida animal que pueda afectar el funcionamiento del equipo debe ser tomado en cuenta.

- Los demás agentes contaminantes se encuentran en el siguiente tema.

Los contaminantes gaseosos aerotransportados están referidos principalmente a su capacidad para reaccionar con el cobre, como una medida directa de su potencial general de corrosión. Se ha seleccionado al cobre debido a la existencia de datos de correlación de formación de película con ambientes corrosivos. En base a esto se han establecido cuatro niveles de corrosión mostrado en la Tabla III.

Tabla III.- confiabilidad del equipo relacionada con el rango de los efectos de corrosión en el cobre.

Nivel de Severidad	Nivel de Reactividad del Cobre (Å)	Descripción Ambiental	Confiabilidad del Equipo
G1	< 300	Ligero	Un ambiente bien controlado, en el cual la corrosión no es un factor determinante en la confiabilidad del equipo.
G2	< 1000	Moderado	Un ambiente en el cual los efectos de la corrosión son medibles y en el que puede ser un factor determinante en la confiabilidad del equipo.
G3	< 2000	Duro	Un ambiente en el cual existe una alta probabilidad de que ocurra un ataque corrosivo. Requiere una evaluación del control ambiental o la instalación de equipos diseñados y protegidos.
GX	≥ 2000	Severo	Un ambiente en el cual únicamente sobrevivirán equipos diseñados y protegidos. Las especificaciones para este tipo de equipo se deberán negociar entre el usuario y el fabricante.

Con estos niveles de severidad con respecto al cobre, la Norma ISA establece una relación en base a la confiabilidad del equipo electrónico. La degradación del desempeño de este equipo puede ocurrir rápidamente a través de varios años, dependiendo del nivel particular de concentración y de las combinaciones presentes en un sitio. En la Tabla IV se muestran las concentraciones permitidas de los principales gases corrosivos.

Tabla IV.- niveles de severidad para algunos gases.

Contaminante	Concentración de Gas (concentración medida en ppb)			
	G1 Ligero	G2 Moderado	G3 Duro	GX Severo
H ₂ S	< 3	< 10	< 50	≥ 50
SO ₂ , SO ₃	< 10	< 100	< 300	≥ 300
Cl ₂	< 1	< 2	< 10	≥ 10
NO _x	< 50	< 125	< 1,250	≥ 1,250
HF	< 1	< 2	< 10	≥ 10
NH ₃	< 500	< 10,000	< 25,000	≥ 25,000
O ₃	< 2	< 25	< 100	≥ 100

La Norma ISA, establece además los efectos de la temperatura y de la humedad en el ataque de los gases corrosivos. La alta humedad relativa acelera de una manera exponencial la corrosión causada por los contaminantes gaseosos. Igualmente las fluctuaciones de la temperatura afectan dramáticamente a la humedad relativa e induce frecuentemente la condensación local. La humedad promueve la degradación corrosiva del equipo de las siguientes formas:

1. Directamente como un reactivo químico, atacando los metales.
2. Interactuando con otros elementos atmosféricos, formando en la mayoría de los casos, una combinación más reactiva, por ejemplo, el dióxido de azufre (SO₂), combinado con agua forma el ácido sulfúrico (H₂S).
3. Electroquímicamente cuando algunas sustancias forman una solución conductiva al ser disueltas en agua. Cuando existen diferencias de potencial eléctrico entre dos metales disímiles, las condiciones para los procesos electrolíticos o galvánicos de corrosión se alteran. Estos fenómenos son diferentes, pero, ambos son causados o promovidos por un electrolito que puede ser agua.

Por estas razones la Norma especifica que la humedad relativa debe ser menor del 50%.

3.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS GASES CORROSIVOS.

La Norma ISA establece las características de los principales gases corrosivos mostrados en la Tabla IV como sigue:

Compuestos Inorgánicos Clorados (Cl_2).- Este grupo incluye cloro, dióxido de cloro, ácido clorhídrico, etc., y la reactividad depende de la composición específica del gas. En presencia de humedad, estos gases generan iones de cloro, los cuales reaccionan inmediatamente con el cobre, la lata, plata y aleaciones de hierro. Estas reacciones son significativas aún cuando los gases estén presentes en niveles de pequeñas partes por billón (ppb). Por ejemplo, la corrosividad del aire que contiene 1 parte por billón de cloro que la coloca en la categoría "moderada" de la clase G2 descrita en la tabla III. Una concentración de 10 partes por billón aumentaría considerablemente el nivel de la severidad a la clase G3 o GX. Estas reacciones se atenúan en atmósferas secas. En concentraciones más altas, muchos elastómeros y algunos plásticos son oxidados por la exposición a los gases tratados con cloro. En particular se debe tener cuidado en el equipo que esta expuesto a atmósferas que contienen contaminantes tratados con cloro. Las fuentes de iones del cloro, tales como compuestos de limpieza y vapores de la torre de enfriamiento, etc., deben estar consideradas al clasificar ambientes industriales. Este tipo de compuestos están siempre en la mayoría de instalaciones.

Compuestos Activos de Azufre (H_2S).- Este grupo incluye ácido sulfhídrico, azufre elemental y compuestos orgánicos de azufre tales como los mercaptanos. Cuando el nivel se presenta por debajo de una parte por billón, aun así ataca al cobre, plata, aluminio y aceros aleados. La presencia de humedad y pequeñas cantidades de compuestos de cloro inorgánicos aceleran enormemente la corrosión sulfurosa. Inclusive, el ataque ocurre aún en ambientes con baja humedad relativa. Los azufres activos se ubican junto con los cloros inorgánicos como la causa predominante de corrosión atmosférica en las industrias de procesos.

Óxidos de Azufre (SO_2 y SO_3).- Estas formas oxilizadas de azufre se generan como productos de la combustión de combustibles fósiles portadores de azufre. Bajos niveles de partes por billón pueden inhibir metales reactivos retardando la corrosión. En niveles altos los óxidos de azufre atacan ciertos tipos de albañilería, metales, elastómeros y plásticos. La reacción con la albañilería y metales normalmente ocurre cuando estos gases están disueltos en agua para formar ácido sulfúrico y sulfhídrico.

Óxidos de Nitrógeno (NO_x).- Los compuestos de óxido de nitrógeno NO, NO_2 , N_2O_4 ; son formados como productos de la combustión de combustibles fósiles y tienen un papel crítico en la formación de ozono en la atmósfera. También son creados para tener un efecto catalítico sobre la corrosión de metales bajos por los cloruros y azufres. En presencia de humedad algunos de estos casos forman ácido nítrico, el cual ataca a su vez a la mayor parte de los materiales comunes.

Acido Fluorhídrico (HF).- Este compuesto es un miembro de la familia de los halógenos y reacciona como un compuesto inorgánico clorado.

Amoniaco y derivados (NH_3).- Formas reducidas de nitrógeno (amonía, amoniaco, iones de amoniaco) ocurren principalmente en plantas productoras de fertilizantes, usos agrícolas y

plantas químicas. Las aleaciones de cobre son particularmente susceptibles a la corrosión en ambientes con presencia de amoníaco.

Especies Fotoquímicas (O_3).- La atmósfera contiene una amplia variedad de elementos reactivos inestables, las cuales se forman por la radiación solar con la humedad y otros componentes atmosféricos. Algunos tienen vida por fracciones de segundo y estos participan en una reacción en cadena rápida. Ejemplo de estos elementos son el ozono, el radical hidrógeno, hidrocarburos radiales oxigenados, óxido de nitrógeno, óxidos de azufre y agua. Como la mayor parte de estos elementos son de naturaleza transitoria, su principal efecto es sobre instalaciones exteriores. En general, los plásticos y elastómeros son más susceptibles a los efectos fotoquímicos que los metales.

Oxidantes fuertes.- dentro de los oxidantes fuertes esta el ozono más algunos gases tratados con cloro (cloro, dióxido de cloro). El ozono es una forma inestable de oxígeno que esta formado de oxígeno diatómico por descargas eléctricas o por la radiación solar en la atmósfera. Estos gases son agentes de gran blanqueamiento y oxidación. Atacan la superficie de muchos elastómeros y plásticos. La oxidación fotoquímica es el efecto combinado de los oxidantes y la luz ultravioleta (luz del sol) es particularmente potente. El ozono puede además ser como un catalizador en la corrosión del azufre y del cloro en metales, sin embargo su función es algo confusa.

3.3 MEDICIÓN DE LA CORROSIÓN

Desde un punto de vista práctico, es interesante conocer a priori la resistencia a la corrosión de un determinado metal o aleación en un medio ambiente específico. Sobre la base de ensayos en el laboratorio, se pueden llegar a establecer las condiciones ambientales más fielmente parecidas a la realidad y, por tanto, estudiar el comportamiento de un metal o varios metales en este medio.

Los múltiples factores que influyen en los procesos de corrosión dificultan la cuantificación de los niveles de severidad, cada uno de estos tiene un correspondiente nivel de reactividad del cobre que tiene una relación directa hacia la película de corrosión en la zona. Esta zona o espesor es medida en Angstroms.

La corrosión es definida en términos de incremento de espesor de película de corrosión en el cobre, con un mes de exposición. Esto es admitiendo que la película crecerá despacio en áreas medias, pero rápido en áreas severas. Como la corrosión del cobre no es lineal, para facilitar la medición del espesor de la película en esas condiciones, los tiempos de prueba pueden ser extendidos a 3 meses en sitios medios y reducidos a dos semanas en ambientes agresivos. La Norma ISA-S71.04-1985 describe la metodología que se debe seguir en la preparación de las tiras de cobre que se utilizan para este fin.

La realización de estos ensayos en el laboratorio puede ser fácil o extraordinariamente difícil, según la naturaleza del medio estudiado.

Aún cuando la Norma ISA únicamente especifica los niveles de corrosión en base al cobre, algunos ambientes no corrosivos para éste han sido extremadamente corrosivos para la plata. Estudios independientes citan a la plata como un mejor indicador de cloro en el ambiente. El uso de estos dos tipos de muestras puede proporcionar información más completa y veraz sobre el potencial de corrosión en ambientes donde existe el cloro como contaminante.

Comercialmente existen tiras de cobre llamadas Cupones de Clasificación de Corrosión (CCC) mismas que son colocadas en el área que va a ser examinada. Dependiendo del nivel de corrosión en el ambiente, después de un tiempo de exposición, se forman películas sobre las tiras. Las tiras son enviadas a un laboratorio en donde son analizadas y se emite finalmente un Reporte de Corrosividad Ambiental en donde se indica las partes por billón de los gases corrosivos que existen, determinando de esta manera el nivel de severidad del local.

Existen también monitores de corrosión que pueden medir electrónicamente las condiciones atmosféricas de un espacio. Su construcción está basada en un microprocesador que puede ser interconectado a una computadora personal o a un Sistema de Control Digital. Estos monitores determinan automáticamente el nivel de corrosión o de severidad del lugar en donde se instalen.

Otro método en estudio comprende el uso de probeta de cobre como sensor para fijar las especies agresivas, y el uso de técnicas electroquímicas de alta sensibilidad y rápida respuesta para el análisis, en contraste con los métodos tradicionales de medida de la

pérdida de peso. Además se minimizan los errores de interpretación que son frecuentes en las experiencias con los métodos tradicionales.

Las técnicas electroquímicas de reducción catódica y de resistencia de polarización lineal, son la base del método que se pretende utilizar. De esta manera es posible determinar las especies agresivas de una atmósfera industrial y alrededores de la planta, conocer la especie y el nivel de los contaminantes, y a partir de esto es posible implementar o sugerir soluciones.

El método utiliza probetas de cobre como en el método tradicional de monitoreo, las modernas técnicas galvanostáticas/potenciostáticas aplicadas, utilizan el mismo sensor para el recogimiento de datos, por su sensibilidad y rapidez, por otro lado, requiere mínimas exposiciones y asegura mayor exactitud de medidas.

3.3.1. El Potenciostato

Se le conoce como potenciostato al instrumento electrónico que permite imponer a una muestra metálica colocada en un medio líquido y conductor, un potencial constante o variable, positivo o negativo, con respecto a un electrodo de referencia. Este electrodo de referencia no forma parte del circuito de electrólisis y, por el mismo, no circula corriente alguna. Su presencia se debe exclusivamente a que sirve de referencia para poner a prueba en todo momento el potencial de la probeta metálica que se está ensayando.

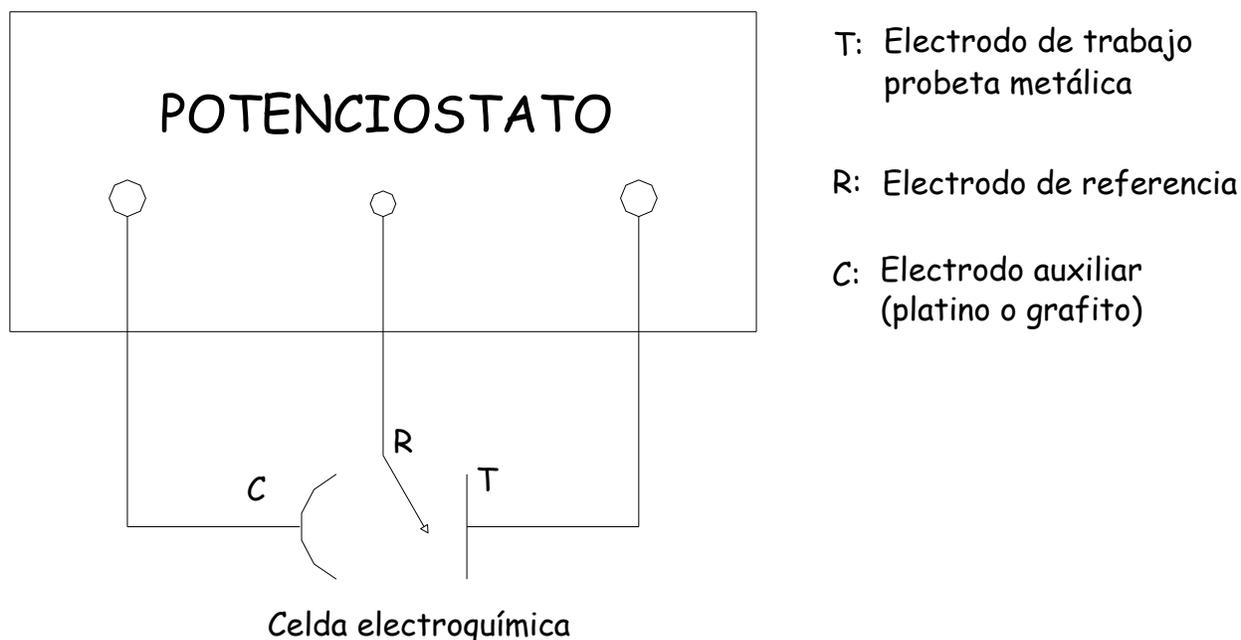


Figura 3.1.El Potenciostato

Para cerrar el circuito de electrólisis se utiliza un tercer electrodo, por lo general de un material inatacable por el medio en que se realiza la experiencia (platino o grafito, por ejemplo).

De una manera sencilla podemos entender el funcionamiento del Potenciostato. Tomemos al cobre como metal de prueba. Si una solución (por ejemplo, un ácido mineral), el ataque del metal producirá un paso importante de electrones, en forma de iones de cobre cargados positivamente, a la solución. Esta producción de electrones es la responsable del alto potencial negativo de disolución del cobre en un medio agresivo. Se puede entender fácilmente que con la ayuda de una fuente externa de corriente, será posible tanto acelerar como frenar esta emisión de electrones y, por consiguiente, aumentar o detener la corrosión del cobre por modificación de su potencial.

Si a partir del valor del potencial de corrosión, y mediante la fuente externa de potencial, aumentamos éste en la dirección positiva (anódica), se puede llegar a obtener el llamado diagrama o curva de polarización potenciostática, la cual es de mucha utilidad para prever y predecir el comportamiento de materiales metálicos en unas condiciones dadas.

Se utilizo cobre como reactivo para la generalidad de las especies, ya que existen ventajas destacables como son la reactividad de este metal, la abundancia de datos por su amplio uso y la fácil interpretación de los resultados. Estos últimos nos permiten establecer por medio de estándares, la caracterización de la corrosividad del medio ambiente, clasificar los ambientes según las normas existentes, lo cual hace posible conocer los niveles de agresividad y la comparación o variación de atmósferas. Para aplicaciones especiales se debe considerar el uso de Plata, Plomo, Aluminio y otros metales, utilizando las mismas técnicas.

Los principales elementos gaseosos que producen corrosividad del medio son: compuestos inorgánicos de cloro, compuestos activos de azufre, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, fluoruro de hidrógeno, amonio y derivados, y especies fotoquímicas. Existe un gran número de especies tóxicas, que se deben tratar en particular cuando se sospecha sobre su presencia, y en algunos casos se deben utilizar probetas particulares.

3.3.2. Preparación y ubicación de las probetas.

Es muy importante la preparación de la probeta, lo cual se hace en condiciones de laboratorio antes de ser llevada al lugar a monitorear, se montan las probetas en un soporte adecuado aisladas eléctricamente y se llevan al sitio de exposición en bolsas plásticas, con una leve presión positiva de nitrógeno, o selladas al vacío, se evita así, la formación de una película o contaminación temprana del metal testigo, antes de ser colocadas en el lugar en que van a ser expuestas.

Las probetas utilizadas son de cobre electrolítico de 10 x 100 x 0.5 mm. y de 20 x 80 x 0.5 mm. Se las codifica para su identificación. Se pulen y se tratan con nítrico 1 M, para la eliminación de óxidos e impurezas. Se lavan con agua corriente, con agua destilada y posteriormente con alcohol etílico, se flamean para secarlas evitando su oxidación. Se acondicionan para ser llevadas al sitio a monitorear. Se ubican tres probetas verticalmente en el sitio a monitorear. Las probetas se marcan en el laboratorio de acuerdo al lugar designado para su ubicación. El tiempo de exposición puede variar, basándonos en la

información disponible respecto a la corrosividad aproximada del ambiente, en nuestro caso no teníamos información, solo en algunos casos se pueden ver materiales deteriorados o inutilizados por el ataque, lo cual indica la existencia de un medio corrosivo, pero por no conocer tiempo de exposición ni escapes eventuales o grandes cambios atmosféricos, no se puede estimar una aproximación del nivel de agresividad. En todos los casos se tomaron 30 días de exposición, tiempo recomendado por la experiencia de otros investigadores. El tiempo se ajustara a valores menores cuando sea muy agresivo el medio y a valores mayores cuando el ataque sea muy débil

Cumplido el tiempo de exposición, se recuperan las probetas y se llevan al laboratorio para el análisis de la película formada. Se registran la condición y apariencia de probetas y soporte, luego se guardan cuidadosamente para que cada una, pueda ser identificada de acuerdo con su registro original, y queda así terminado el periodo de recogimiento de datos, ya que cada probeta contiene el registro acumulado del periodo de permanencia al medio. Posteriormente para su estudio se aplican los métodos electroquímicos mencionados, lo que nos permitirá extraer datos específicos y conclusiones.

3.3.3 Técnicas utilizadas para determinación de especies y espesor de películas.

Existen técnicas tanto directas como indirectas para determinar espesores y otras propiedades de las películas formadas, en nuestro caso para determinar el tipo de película y espesor formado sobre la probeta se seleccionó la técnica de reducción catódica, que conjuntamente con la de polarización lineal, conforman el método para determinar especies de contaminantes y velocidades de corrosión, así como la clasificación de la agresividad del medio en función del espesor y según normas. El resultado de las experiencias sugiere las acciones a tomar para eliminar o mitigar el problema si existe.

3.3.4 Técnica de Reducción Catódica.

Para la reducción catódica, se utiliza la técnica galvanostática, la cual es usada comúnmente para estudiar la formación o rotura de la película pasiva. Las experiencias consisten en hacer pasar una corriente fija y medir las variaciones de potencial que experimenta el proceso en el tiempo. Se utiliza para ello un galvanostatopotenciostato y regulando convenientemente el área de electrodo y la densidad de corriente. El gráfico generado en la experiencia es un gráfico potencial contra el tiempo.

La probeta esta construida con cobre electrolítico de máxima pureza, el cual por estar en su máximo estado de reducción no es reactivo en el cátodo y no será atacado, contrariamente, la película formada por compuestos en los cuales el cobre toma parte en forma oxidada, podrá ser reducida a distintos potenciales eléctricos, los cuales son característicos de cada compuesto

Cuando se eliminan estos compuestos, queda solo el Cu en su máximo estado de reducción, que soportara la evolución de hidrogeno cuando se alcance el potencial correspondiente.

Las probetas que han sido recuperadas y traídas al laboratorio convenientemente protegidas, se colocan como cátodo en una celda electroquímica que contiene una solución desoxigenada de cloruro de potasio como electrolito, completan la misma un electrodo de referencia. El comportamiento del cobre, es analítico en el electrolito utilizado cuando el metal posee la película de compuestos oxidados.

La formación de la película sobre la superficie de la probeta está directamente relacionada a la reacción del cobre con las especies agresivas presentes en la atmósfera que la rodea, la película estará formada por diferentes compuestos oxidados, siendo el Cu un excelente sensor de contaminantes, por su gran reactividad. Un potencial de reducción particular está asociado a cada uno de estos compuestos. Esto permite identificar varios elementos agresivos, a partir de la curva potencial contra tiempo.

Los espesores formados en cada caso, definen la agresividad del medio, interpretando los resultados de acuerdo a las Normas ISA-71.04- 1985.

Estas nos dan los niveles estándar de referencia sin considerar las especies reactivas, y es posible con mediciones de resistencia de polarización lineal. La técnica de reducción catódica da resultados que hacen distinciones de componentes de la película, indicando la actividad electroquímica en lugar de la película formada.

3.3.5 Técnica de Resistencia de Polarización Lineal.

La aplicación de técnicas como la resistencia de polarización lineal, permite determinar la pérdida del espesor de la probeta de cobre en mm/año, que puede ser usado para obtener el espesor de la película formada durante el periodo que se considere adecuado (ej. 30 días). Este método es más rápido y más efectivo que la técnica galvanostática, por otro lado minimiza los errores de interpretación que podrían estar presentes en experiencias con métodos galvanostáticos. No es posible detectar especies reactivas ni sus espesores o concentraciones parciales.

En esta técnica se mide la densidad de corriente a través de la interfase metal-solución. La medida de la pérdida de espesores en RPL se caracteriza por la determinación de la curva de polarización de cobre, al aplicar distintos potenciales y tomar las intensidades de corriente de la probeta. A partir de estos valores se determinan la resistencia de polarización (R_c), la densidad de corriente de corrosión (i_c) y la velocidad de corrosión, que expresada convenientemente nos indica la pérdida del espesor en función del tiempo.

El rango de potencial utilizado es 5/10 mV, para obtener mas puntos de (equilibrio relativo) la curva y definir mejor la medida. La pequeña perturbación de potencial mencionada, se aplica por etapas, comenzando con un valor más negativo que el potencial de reposo y terminando con un valor mas positivo que el mismo (más anódico), una vez determinada la corriente y el potencial, se calcula

$$R_c = E_c / I_c$$

La resistencia de la polarización es el cociente del potencial aplicado y de la respuesta actual de corriente. Como esta corriente está relacionada con la corriente de corrosión del sistema, por lo tanto es directamente proporcional a la velocidad de corrosión.

La velocidad de corrosión obtenida a partir del método RLP mediante las leyes mencionadas, es inversamente proporcional a la resistencia de polarización. Por lo tanto a elevados valores de resistencia de polarización, corresponde baja velocidad de corrosión.

Durante la reducción, la velocidad y el mayor o menor grado de avance de las reacciones es función del potencial y de la corriente que circula.

La película formada sobre la probeta, esta influenciada significativamente por las variables del medio en que fue expuesta, son importantes la humedad, la temperatura, la composición del agente corrosivo, el grado de exposición a factores meteorológicos y/o ataque químico, por lo que es importante observar las variaciones de la atmósfera en estudio en función de la época de año y la forma de operación de la planta.

Analizados los valores de corrosión y las especies existentes, se puede determinar la necesidad de realizar correcciones para eliminar el problema o minimizarlo.

Debe tenerse en cuenta en cada caso que significa una atmósfera agresiva para el Instrumental y equipamiento y la conveniencia de utilizar equipos blindados o con determinadas protecciones, y la importancia por la ubicación de la industria y la permanencia de personas en los ambientes monitoreados. Las conclusiones y posibles soluciones a los problemas detectados, surgen de la correcta interpretación de los resultados y que cosas se pueden modificar o si es necesario protecciones o controles y protecciones electroquímicas en caso de corrosión.

3.3.6 resultados y discusión

Se prepararon las probetas como se indicó anteriormente, se expusieron en los ambientes seleccionados y se retiraron a los 30 días. Estas probetas fueron sometidas a las técnicas de “Reducción catódica” y “Resistencia de polarización lineal”, para obtener datos del medioambiente a partir de la película de los compuestos oxidados de cobre.

3.3.7 Probetas

Durante la exposición se colocaron las probetas en cámaras construidas en vidrio con renovación semanal de componentes, en algunos casos se utilizó una atmósfera con 50 % de humedad relativa, y en otros se utilizó una atmósfera cerca del punto de saturación. Las probetas fueron suspendidas por medio de un soporte aislante, en atmósferas artificiales conteniendo SO_2 , NO_2 ,

Se adoptó 30 días, como periodo de permanencia de probetas, luego de lo cual se retiran, se sellan, se clasifican y almacenan.

El aspecto general de las placas al final del periodo es uniforme, el color ha variado por oscurecimiento.

3.3.8 Reducción Catódica

Se puso a punto la técnica galvanostática, ensayando distintas reacciones de cinéticas conocidas, a efectos de realizar las experiencias de Reducción Catódica que requieren condiciones especiales, fundamentalmente para determinar la densidad de corriente de trabajo mas adecuada, se ha encontrado que la misma se corresponde con valores menores cuanto menor es la cantidad de componente oxidado en la probeta. Se hicieron circular densidades de corrientes de 10^{-3} , 10^{-2} , 10^{-1} , mA/cm² adoptándose 5×10^{-2} en razón de estar en un rango de reacción de cinética tal, que permite la conversión (reducción) lenta del componente oxidado, y de esta manera distinguir las distintas especies, que se corresponden con los distintos potenciales a que ocurre su transformación.

Se colocó la probeta como electrodo de trabajo, en una celda con KCl como electrolito, contraelectrodo de Pt y electrodo de referencia de calomel saturado.

El comportamiento del cobre es analítico en este sistema (KCl 0,1 N) ya que por estar sometido a potenciales catódicos y estar en su máximo estado de reducción, solo puede reaccionar con las especies oxidadas.

Conociendo el tiempo durante el cual se reduce un compuesto y relacionando con la densidad de corriente, se establece el espesor de película correspondiente a ese compuesto. Teniendo en cuenta todos los valores, se puede encontrar el espesor de película o el valor total de la pérdida de cobre.

3.3.9 Resistencia de Polarización Lineal

Se han realizado ensayos en el mismo electrolito con la misma configuración de celda, pero el método ahora considera valores de potencial vs. Densidad de corriente, en sucesivos estados de equilibrio del sistema.

Para las probetas ensayadas se comenzó a variar potenciales y obtener valores de i , se fueron disminuyendo los valores de potencial en escalones de 10 mV, hasta obtener corrientes de 1 a 10 microampers. En la fig. __, podemos ver el grafico i vs. V , en cual se determina la recta de regresión, para encontrar la relación constante $V/i = R$, con este valor de resistencia de polarización, se realizan los cálculos utilizando las leyes de Faraday y considerando los tiempos de exposición, en nuestro caso el tiempo es 30 días.

Determinada la corriente de corrosión y conociendo la densidad del cobre es sencillo calcular el espesor de material perdido por año. En las experiencias realizadas al momento se han encontrado los siguientes valores, los cuales se corresponden con la clasificaciones de mediambientes según la norma ISA utilizada determinaron. Los valores calculados de espesores, están expresados en Angstromg por año.

Tabla V.- reporte de las pruebas expuestas en el laboratorio

ANALISIS DE PROBETAS POR POLARIZACION LINEAL			
Probetas	Angstroms	promedio	Clasificación
1-1	150	136	N 1
1-2	135		
1-3	128		
2-1	995	1090	N 3
2-2	1200		
2-3	1075		
3-1	2000	1893	N 3
3-2	1785		
3-3	1894		
1:recepción 2: laboratorio 3:laboratorio			

conclusiones.

- La técnica desarrollada es rápida y segura para la medida y caracterización de películas de cobre, y determinación de agentes agresivos.
- El tiempo de exposición de probetas es 3 a 4 veces menor que para el método gravimétrico.
- El monitoreo se realiza utilizando probetas expuestas por periodos de tiempo, que no miden el efecto puntual, sino la integración de la situación global en el tiempo de exposición, por lo que se debe observar la no ocurrencia de escapes de gases, vapores, humos y otro reactivo cualquiera que podría sobrevaluar la medida.
- El método destaca la rapidez de obtención de los datos del monitoreo, la seguridad y exactitud sobre los métodos gravimétricos y por la identificación de las especies contaminantes.
- Para algunas especies, es necesario utilizar otras probetas de mayor reactividad (ej. para Cl, Ag.), a fin de asegurar la captación total de la especie, pero el método no varía, será necesario utilizar otros electrolitos y ensayar tiempos y densidades.
- Es importante concienciar a Empresarios y Organismos estatales de control, sobre su utilización en el control de agresividad y corrosividad de medioambientes Industriales.

3.4 MÉTODOS DE RETENCIÓN DE GASES CORROSIVOS.

Existen otras maneras de detener los gases corrosivos que se pueden remover del ambiente interior básicamente de dos formas: **lavado húmedo** y **lavado en seco**. El lavado o depuración en seco se puede clasificar en tres métodos: *con carbón activado o impregnado*, *con alumina activada o impregnada* y *una combinación de ambos*.

Depuración Húmeda.- En este método el aire se hace pasar a través de una cortina de agua para remover las sustancias solubles en ella. Sin embargo, el amplio incremento de la humedad relativa hace que este método sea inapropiado pues no garantiza la protección del equipo eléctrico y electrónico debido a que la humedad es también un agente corrosivo.

Depuración en Seco con Carbón.- La filtración con carbón activado o impregnado involucra el paso del aire a través de una capa a base de carbón. Como el carbón se fabrica a partir de materiales combustibles orgánicos y fósiles como: cáscaras de coco, madera, aceite, etc., para su uso en sistema de filtración se requiere tenga ciertas características: bajo contenido de sulfuro elemental, bajo contenido de cenizas para evitar su arrastre por la corriente de aire y gran dureza para tener menor desprendimiento de partículas.

Si el carbón es activado los gases son adsorbidos sobre la superficie del carbón. El área de superficie de un producto de carbono es crítica, ya que el funcionamiento de la purificación del aire de cualquier media es función del área de superficie disponible para la adsorción.- La media de carbón activado es apropiada para el control de contaminantes de alto peso molecular como los bencenos (C_6H_6), el cloro (Cl_2) y el dióxido de cloro (ClO_2).

Si el carbón ha sido impregnado, los gases son adsorbidos y químicamente alterados. Se usa para controlar una amplia gama de gases corrosivos y olorosos encontrados en plantas de tratamiento de aguas negras, fábricas de papel, plantas químicas y estaciones de bombeo.

Depuración en Seco con Alumina.- Esta forma de filtración involucra el paso del aire a través de una capa de alumina activada impregnada con permanganato de potasio. Los gases son adsorbidos y absorbidos entre los gránulos de la alumina donde la oxidación cambia los gases en sólidos inofensivos eliminando la posibilidad de desadsorción.

Este tipo de media química puede remover los siguientes gases corrosivos: sulfuro de hidrógeno (H_2S), dióxido de azufre (SO_2), dióxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO_2) y formaldehído ($HCHO$).

Depuración en Seco con Alumina y Carbón.- Este tipo de media química aprovecha las propiedades del carbón y de la alumina para retener diferentes compuestos químicos y concentraciones que pueden estar presentes en la atmósfera. Esta media se ha desarrollado principalmente para la protección contra la corrosión disponible en la industria de la pulpa y el papel.

Los gases corrosivos son adsorbidos por el carbón activado y la alumina los adsorbe, absorbe y oxida, proporcionando una mejor protección para periodos de tiempo más largos en la remoción principalmente de sulfuro de hidrógeno (H_2S), cloro (Cl_2), amoníaco (NH_3) y dióxido de azufre (SO_2).

3.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS MEDIAS QUÍMICAS DE PURIFICACIÓN DE AIRE

3.5.1 ¿Qué es lo que hace al CARBÓN ACTIVADO Un material tan versátil?

Es conveniente analizar primero el proceso de adsorción, para así comprender mejor como es que el carbón activado realiza su función. La adsorción es un proceso por el cual los átomos en la superficie de un sólido, atraen y retienen moléculas de otros compuestos. Por lo tanto al ser un fenómeno que ocurre en la superficie mientras mayor área superficial disponible tenga un sólido, mejor adsorbente podrá ser.

El carbón activado es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito; es extremadamente poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de 1,500 metros cuadrados ó más, por gramo de carbón.

Todos los átomos de carbón en la superficie de un cristal son capaces de atraer moléculas de compuestos que causan color, olor o sabor indeseables; la diferencia con un carbón activado consiste en la cantidad de átomos en la superficie disponibles para realizar la adsorción. En otras palabras, la activación de cualquier carbón consiste en " multiplicar" el área superficial creando una estructura porosa. Es importante mencionar que el área superficial del carbón activado es interna. Para darnos una idea más clara de la magnitud de la misma, imaginemos un gramo de carbón en trozo el cual moleremos muy fino para incrementar su superficie, como resultado obtendremos un área aproximada de 3 a 4 metros cuadrados, en cambio, al activar el carbón logramos multiplicar de 200 300 veces este valor.

Por todo ello, cuando se desea remover Una impureza orgánica que causa color, olor o sabor indeseable, normalmente la adsorción con carbón activado suele ser la técnica más económica y sencilla.

3.5.2 El carbón activo como adsorbente

El carbón activo se fabrica a partir de diversas sustancias carbonosas de origen animal, vegetal o mineral. Frecuentemente, se emplea antracita, carbones grasos o bituminosos, choque de petróleo, turba, madera, cáscara de nuez, coco o almendra, huesos, así como otros productos residuales de naturaleza lignocelulósica. La materia de partida es amorfa y la estructura porosa se produce durante la activación. Las propiedades del carbón activo final dependen tanto de la materia prima como del método de activación empleado. Por ejemplo, los carbones obtenidos a partir de cáscara de coco tienen mayor densidad y presentan distribución de tamaño de poro más estrecha, lo que hace que estos carbones sean muy adecuados para la adsorción de moléculas pequeñas, como en las aplicaciones de purificación de gases.

En la preparación se aplican procesos térmicos que implican la deshidratación del material y la calefacción en ausencia de aire (carbonización), seguidos por el tratamiento oxidante (activación) a alta temperatura (200-1000 °C), que desarrolla una estructura porosa en el carbón y crea una gran superficie interna. La activación consiste, esencialmente, en una oxidación selectiva de los hidrocarburos residuales en el sólido, que se realiza con

anhídrido carbónico, vapor de agua, aire u otro agente oxidante También se puede emplear un tratamiento químico húmedo a más bajas temperaturas mediante agentes tales como el ácido fosfórico, el hidróxido potásico o el cloruro de zinc.



Figura 3.2. Carbón Activado en forma granular

El carbón activo se puede considerar constituido por un aglomerado rígido de microcristales, cada uno de los cuales está formado por una pila de planos graníticos. Cada átomo dentro de un determinado plano está unido a cuatro átomos de carbono adyacentes. Así, los átomos de carbono en los bordes de los planos presentan una alta actividad disponible. En estos “sitios”, que consisten en una serie compleja de planos de base y bordes de microcristalitos, tiene lugar la adsorción. A medida que los sitios se van llenando, se va alcanzando el equilibrio de adsorción y la calidad del efluente va disminuyendo. La química de la superficie de un carbón influye sobre la velocidad y la capacidad de la adsorción debido a la interacción entre superficie y adsorbatos. Los grupos funcionales sobre esta superficie tienen gran influencia sobre las propiedades adsorbentes respecto de los posibles adsorbatos. Estos grupos pueden ser carboxílicos, fenólicos, hidroxilo, carbonilo o peróxidos, entre otros.

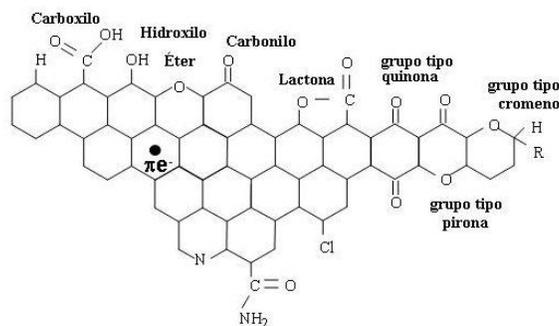


Figura 3.3. Estructura Química del Carbón Activado

Representación esquemática de los principales grupos superficiales que pueden encontrarse un carbón. La mayoría de estos grupos son grupos oxigenados, debido a la tendencia de los carbones a oxidarse incluso a temperatura ambiente. Los electrones deslocalizados de los orbitales π juegan un papel muy importante en la química superficial de los carbones.



Figura 3.4. Carbón Activado en forma de polvo y de pastilla

El carbón activo se utiliza en forma de gránulos y de pastillas, o en polvo. El diámetro de las partículas del carbón en polvo es generalmente inferior a 0,1 mm, siendo normales carbones en polvo con partículas comprendidas entre 10 y 50 micras, mientras que en los carbones granulares comerciales el tamaño medio de partícula varía usualmente entre 0,2 y 1,7 mm. En la siguiente tabla VI daremos a conocer algunos compuestos de los cuales el carbón activado inhibe su proceso de corrosividad:

EL CARBÓN ACTIVADO ES ALTAMENTE EFICIENTE EN LA RETENCIÓN DE MUCHOS COMPUESTOS, DE LOS CUALES PODEMOS MENCIONAR LOS SIGUIENTES		
ácidos	cloro	Olor a baño
Adhesivos	Cloruro de vidrio	Olores corporales
Alcohol	Cítricos	Ozono
Anestesia	Combustibles líquidos	Pescado
Antisépticos	Cosméticos	Pinturas
Ácido bultico	Compuestos sulfurosos	Perfumes
alcanfor	Desechos orgánicos	Queso
Ácido láctico	Desodorantes	Revelado de película
Ácido nítrico	Detergentes	Smog
Ácido sulfúrico	Esencias	Spiedo
Aceites y grasas	Estiércol	Tabaco
Aguarrás	Etileno	Tetracloruro de carbono
Aroma a comida	Etil Ketona	Tierra
Ajo	Florales	Trementina
Animales	Frituras	Tolueno
Aves de corral	Fertilizantes	Tricloroetileno
Bacterias	Gases de escape	Transpiración
Benceno	Humos domiciliarios	vapores
Cebolla	Humos de asfalto	Vinagre
Cigarros	KeriseneMetil	Xileno
Cloacas	Leche agria	Entre otros
Cloroformo	Naftalina	-----

3.5.3 Función de los filtros de carbón activado

Los **Filtros de Carbón Activado** tienen la capacidad de retener ciertas partículas(productos orgánicos, gases disueltos, cloros, etc), muchas de las cuales producen olores y/o sabores indeseados, tanto del aire como del agua.

En el Tratamiento de Aguas Potables, los Filtros de Carbón Activado son prácticamente los últimos usados en todo el proceso de Potabilización. De esta forma, se garantiza su efectividad y duración.

Es muy recomendable usar los Filtros de Carbón activado con un Pre-filtro y un Post-filtro. La función del primero es retener impurezas o partículas en suspensión, alargando de esta forma la vida de las partículas de Carbón Activo. La función del Post-Filtro es la de retener las partículas de Carbón Activo y evitar su paso al agua o aire tratado.

Este tipo de filtro funciona por un proceso electro-químico conocido por ADSORCION, proceso por el cual las moléculas de determinadas impurezas se adhieren a la superficie del carbón activado. La efectividad del filtro de Carbón Activado dependerá del tipo y de la cantidad de partículas de Carbón activo contenido en él.

Características de las partículas que afectan el equipo

- **Permeabilidad magnética-** Las sustancias magnético permeables se pueden acumular en campos magnéticos; por ejemplo, el movimiento de forcecoils o los movimientos del galvanómetro puede ser seriamente limitados o enteramente inmóviles por la acumulación de sustancias magnéticas por el vacío de aire de los imanes permanentes. Asimismo, los motores eléctricos se pueden dañarse seriamente por los materiales magnéticos acumulados entre el rotor y el estator.
- **Conductividad térmica-** Las características aisladores termales de algunas partículas sólidas pueden causar el recalentamiento de los sistemas de enfriamiento (que se aíslan por los depósitos superficiales de estas sustancias). Por ejemplo, las aletas que se refrescan de la electrónica de energía se pueden aislar seriamente por las fibras del textil.
- **Conductividad eléctrica-** Las sustancias sólidas se dividen en dos grupos, los buenos conductores eléctricos y las sustancias altamente aislantes.

Tipos de carbón activado para filtros

Básicamente, existen 2 tipos de Carbón Activado

- **Carbón Activado en Polvo (P.A.C.)**
- **Carbón Activado Granular, en grano. (G.A.C.)**

3.5.4 Regeneración de los Filtro de Carbón Activo

La duración de este tipo de filtros depende del volumen de gases o líquidos a tratar (habitualmente agua potable o aire), y de la cantidad de moléculas a retener. Muchos de estos filtros vienen en formato "cartucho filtrante de Carbón Activado", que deben ser sustituidos como tal al final de su plazo de uso recomendado. Otros filtros, o mejor dicho, el Carbón Activo de esos filtros pueden ser "regenerados", permitiendo continuar su uso con un rendimiento aceptable. Los métodos de Regeneración de Filtros de Carbón Activado suelen ser térmicos (en horno o mediante vapor), o también Químicos.

CAPÍTULO

CUARTO

CUARTOS DE CONTROL

INDUSTRIALES

4.1 TIPOS DE CUARTO DE CONTROL.

Los cuartos de control deben tener equipos de aire acondicionado que permitan mantener una presión positiva en la habitación, una temperatura adecuada para los instrumentos de precisión y evitar así, hasta donde sea posible, su inclusión dentro de la clasificación eléctrica de áreas peligrosas.

Los cuartos de control se pueden clasificar de acuerdo al tipo de instrumentación eléctrica o electrónica que poseen, los cuales requerirán ciertas condiciones de pureza de aire para su buen funcionamiento.

Sistema de Computadora de Proceso.- Este sistema de control recibe información a través de transductores, sensores y convertidores de señal y a la vez envía datos por medio de actuadores, válvulas posicionadoras, variadores de velocidad, actuadores solenoides y actuadores servomotores. Algunas actividades principales e independientes de las computadoras son: instrumentación del proceso, regulación del proceso, adquisición de datos medidos, supervisión del proceso, protección y seguridad en el proceso, apagado y encendido en el control del proceso, etc. Generalmente este sistema requiere un nivel de severidad G1 (ver tabla III).

Control de Procesos basado en Microprocesador.- Un microprocesador es un sistema que explora secuencialmente la información almacenada en un programa, la interpreta y la ejecuta. Tiene una gran flexibilidad para ser programado y debido a su reducido tamaño no ofrece los inconvenientes asociados con las grandes computadoras. Este tipo de equipo requiere un nivel de severidad G1.

Sistema de Control de Proceso tipo Instrumentos Discretos.- Los controles lógicos discretos de condición fija o estado sólido debido a su pequeño tamaño pueden ser muy bien aislados del ambiente. Estos dispositivos ejecutivos de un sistema de control pueden cambiar directamente el valor de una variable manipulada. Los dispositivos de control finales son continuos y discretos como son: activadores También llamado actuador, es un dispositivo que produce movimiento a través de un sistema hidráulico, pirotécnico o neumático, válvulas posicionadoras, variadores de velocidad, actuadores solenoides y actuadores servomotores. Estos dispositivos son conectados a los elementos ejecutivos: válvulas de interrupción, posicionadores de derivación de los transformadores, válvulas electrohidráulica y engranes mecánicos. Este tipo de equipo requiere un nivel de severidad G2 (ver tabla III)

Centro de Control de Motores y Subestaciones.- Si en estos lugares existen equipos lógicos programables, sistemas de control electrónico o sistemas de fuerza ininterrumpible se requiere generalmente condiciones moderadas G2. Si estos locales contienen sólo interruptores eléctricos las condiciones ambientales internas pueden ser un promedio entre los niveles de severidad G2 y G3 (ver tabla III).

El centro de control de motores al principio de la industria, la tendencia era llevar los cables de fuerza para un motor lo más cercano a él, para tener acceso de manera inmediata a su sistema de control. Por esta razón en la industria que no está modernizada, es fácil de encontrar muchos tableros pequeños repartidos por toda la planta. En respuesta a este fenómeno, se idearon los CCM, que son tableros en donde se concentran todos los

elementos de control y protección de un motor como son: guardamotor o breaker, contactor, de sobrecarga, amperímetros y voltímetros. Esto ha facilitado el mantenimiento y el control pues la comunicación está concentrada en un solo punto.

Las unidades en un centro de control de motor pueden contener combinaciones de arrancadores, interruptores de circuito, interruptores desconectores, reguladores de frecuencia ajustable, arrancadores de estado sólido, transformadores, paneles de alumbrado, controladores lógicos programables, paneles de video control, monitoreo digital y sistema de comunicación. No vamos a cubrir todos estos elementos con grandes detalles aquí. Pero vamos a ver con más detalles las unidades en las cuales se montan estos dispositivos.

Cuarto eléctrico.- Este es localizado lo más cerca posible del centro de carga eléctrica, en un área no peligrosa y debe estar orientado a favor de los vientos dominantes.

La construcción del edificio debe ser a prueba de fuego y debe tener un cuarto de cable abajo del cuarto eléctrico, con charolas para los cables que accedan a los tableros y centros de control de motores. El cuarto eléctrico debe tener dos entradas una para equipos y otra para el personal. Las puertas se deben localizar en los lados opuestos del cuarto. Las entradas deben tener escalera concreta. El cuarto de cables también debe tener dos puertas para acceso de personal arreglo que el cuarto eléctrico. Todas las puertas deben de ser de lamina troquelada no se aceptan de aluminio.

Las puertas deben de abrir hacia fuera, ser a prueba de fuego y deben tener barra de pánico (de emergencia, accionadas por presión de palanca en el interior y por el exterior chapa con llave). Las puertas deben cumplir con el Art.180.B2 del NESC (National Electric Safety Code).

El piso de cuarto de cable debe estar a .30 metros arriba del nivel del piso para prevenir inundaciones.

Los cuartos eléctricos y de cables no deben llevar ventanas. Las puertas de acceso de equipo y de personal en los cuartos eléctricos y de cables no deben localizarse hacia el lado del patio de transformadores ni de las plantas de proceso.

- **distribución de equipo**-. El ancho de las arras principales, debe ser de 19 mm y las derivadas de 6. mm.

Los tableros o CCM, deben estar alineados, dejando un pasillo de 2.0 m para labor de operación y mantenimiento entre el frente de los tableros ó CCM. En el caso de equipos con arreglo en una sola hilera también se debe dejar 2m de espacio libre.

También se debe dejar un espacio de 0.9 mm entre la parte posterior del tablero ó del CCM respecto de la pared del cuarto eléctrico, Entre los extremos de cada tablero de distribución ó CCM y la pared, se debe dejar un espacio mínimo de 1.8 m y el espacio entre tableros ó CCM adyacentes debe ser al menos de 0.9 m.

Todos los gabinetes metálicos en el cuarto eléctrico y charolas metálicas en el cuarto de cables deben ser puestos a tierra. El arreglo de charolas en este último cuarto debe cumplir con la norma NOM.001 SEDE 1999 y no obstruir la circulación del personal.

Sistema de aire acondicionado y presurización.- El cuarto eléctrico debe tener aire acondicionado con presión positiva la presión no debe ser menor 5.08 mm. (0.2") de columna de agua. La toma de aire exterior puede ser por ductos localizada arriba de azotea del cuarto eléctrico. En los cuartos eléctricos donde se instale sistema de aire acondicionado esta debe contar invariablemente con un control de humedad.

El cuarto de cables debe tener presión positiva. El equipo para presurización del cuarto eléctrico se debe suministrar con filtros químicos de acuerdo con las normas ANSI-ISA S-71.04 y con alarma de falla de equipo al SCD.

El equipo de aire acondicionado y presurizado, debe ser instalado en un local exterior adyacente al cuarto eléctrico. Los serpentines de los evaporadores y condensadores, deben ser de acero inoxidable. Los equipos deben ser del tipo enfriado por agua. Los indicadores de presión deben ser localizados en el interior del cuarto eléctrico.

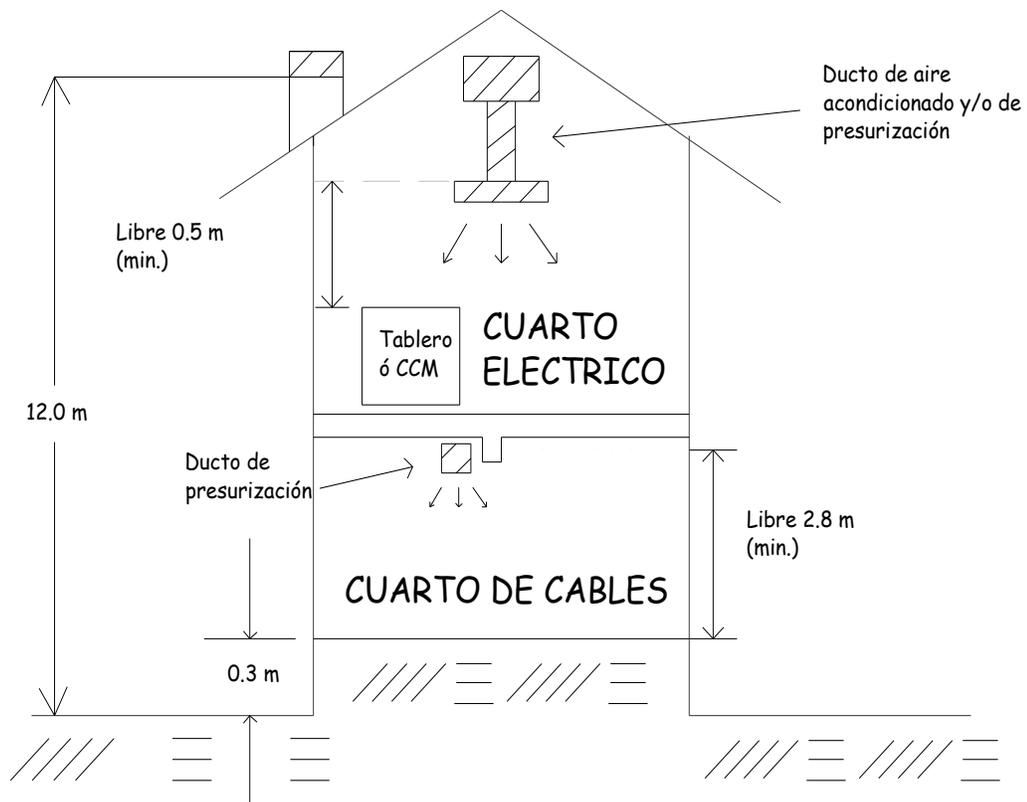


Figura 4.1.cuarto eléctrico y de cables

4.2 CARACTERÍSTICAS DEL CUARTO DE CONTROL.

Una de las consideraciones más importantes que se deben tener en el cuarto de control es la pureza del aire interior, libre de polvo y gases contaminantes, manteniéndola a través de una presión positiva.

El mantener una presión positiva implica la necesidad de contar con un cuarto bien sellado, en el cual se hayan obstruido grietas y hendiduras de techos y paredes, se tengan instalados sistemas de doble puerta y existan ventanas selladas.

Un cuarto de control bien sellado requiere menos aire para mantener la presión positiva necesitando dispositivos de filtración más pequeños. Al mismo tiempo como es menor la cantidad de aire exterior inyectada al local, se reducirá el tamaño del equipo de aire acondicionado, porque la carga latente asociada con la deshumidificación de este aire se reduce en esa proporción. Existen ahorros de energía y costos de operación al acondicionar menos aire, así mismo el tiempo de vida útil de la media química de los filtros de adsorción de gases corrosivos se incrementa.

Aún sellados los cuartos presurizados con paredes expuestas a los vientos reinantes o dominantes, tendrán contaminación infiltrada a través de pequeñas grietas de los muros y hendiduras de las puertas, porque la presión estática del viento puede ser más grande que la presión interna del cuarto. La infiltración ocurrirá también a través de los equipos de aire acondicionado instalados fuera del espacio acondicionado. Estos equipos no son herméticos y las infiltraciones o fugas de aire se estiman en un 4% ó 5%.

Otra causa de contaminación, es la entrada de polvo y gases corrosivos en la ropa del personal, sobre todo en aquellos casos en donde entra personal de operación de la planta. Existe un ligero brillo amarillo en las batas después de una semana de uso dentro de las instalaciones. La mayoría de esta ropa está saturada con contaminantes.

Aunque la mayoría de los contaminantes entran al cuarto de control a través de la toma del aire exterior, las infiltraciones existentes hacen necesario recircular el aire a través de un sistema de filtración que pueda retener los contaminantes infiltrados.

“Los cuartos de control modernos son equipados con un sistema central que provee calefacción, enfriamiento, filtración, humidificación / deshumidificación de la atmósfera, así como presión positiva para prevenir el ingreso de gases y vapores explosivos y corrosivos”

Cuando se diseña un sistema para un cuarto de control, deberán de ser considerados los siguientes factores de carga:

- A. Condiciones de diseño interior
- B. Condiciones de diseño exterior
- C. Tamaño y características físicas del centro de control
- D. El número de ocupantes promedio y el grado de actividad anticipada.
- E. La carga de calor brindada por el equipo que se encuentra el centro de control, incluyendo las provistas por expansiones futuras.

- F. La cantidad de aire para ventilación y las fugas por puertas ventanas y penetraciones en muros.
- G. El sitio de la manufacturación, planeando guías para el equipo instalado.
- H. El diseño deberá de ser de presión positiva.

4.3 CONTROL AMBIENTAL DEL CUARTO DE CONTROL

Esta sección presenta las prácticas más comunes y las consideraciones para el diseño y selección del equipo ambiental usado para mantener las condiciones para lograr:

- **Lograr el confort humano**
- **Proteger la instrumentación local en el cuarto de control”**

Las condiciones de diseño en el interior del local deben ser indicadas en Base a la Licitación, y deben especificarse conforme a los valores de la tabla siguiente.

“Condiciones ambientales internas recomendadas para Cuartos de Control”:

- **Temperatura Mínima: 19°C**
- **Temperatura Máxima: 24°C “**

En la siguiente tabla se da a conocer las *“Condiciones ambientales internas recomendadas para “Switch Rooms”(interruptores de cuartos) sin personal:*

- **Temperatura Mínima: 5°C**
- **Temperatura Máxima: 35°C “**

Concretando con la documentación anteriormente citada, *las ventajas de un Sistema de Aire Acondicionado y Presión Positiva en Cuartos de Control son:*

- **Aumenta la vida útil de los equipos.**
- **Disminuye el efecto de la corrosión por alta temperatura.**
- **Disminuye el efecto de la corrosión por alta humedad.**
- **La operación de los equipos electrónicos es óptima.**
- **La operación de los equipos eléctricos es óptima.**
- **Control de gases corrosivos y polvos.**
- **Se evitan atmósferas explosivas dentro del cuarto de control.**
- **Aun en el caso de adquirir equipos electrónicos que operen a temperaturas mayores a 40°C y humedades relativas mayores al 50%, los problemas de corrosión debidos a la falta de mantenimiento del paquete de filtración del sistema de presión positiva serían minimizados por tener una atmósfera de baja temperatura y baja humedad relativa en el cuarto de control.**

Para tener estas funciones, el equipo y sistemas, deberá estar instalado, el proceso de tratar aire para proveer ventilación controlar su temperatura, humedad, limpieza y distribución. Calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire.

El sistema ambiental deberá estar basado en ambas condiciones de diseño para invierno, como para verano, ya sea interiores como exteriores, las condiciones deberán considerar tanto el espacio por calentar, como los requerimientos de enfriamiento.

La mayoría de los cuartos de control modernos están equipados con un sistema central que provee calefacción, enfriamiento, filtración y humidificación y deshumidificación de la atmósfera, así como una presión positiva para prevenir el ingreso de gases y vapores inflamables o corrosivos.

El equipo de ventilación deberá operar continuamente para hacer que el aire acondicionado circule, (una mezcla de ambos: aire recirculado y aire fresco) a través de los registros o difusores en el techo o el suelo del cuarto de control. La proporción de aire recirculado con respecto al aire fresco es usualmente controlada manualmente posicionando ventilas en el ducto de inyección.

Es necesario colocar elementos termostáticamente controlados en el sistema para calentar/enfriar la entrada de aire dependiendo de las condiciones ambientales. Si la temperatura del aire exterior tiende a caer, un elemento precalentador puede ser colocado para calentar el aire fresco entrante. La localización geográfica y condiciones climáticas en el cuarto de control y la instrumentación que ahí habita determinan la carga de entrada de aire y los requerimientos de control de humedad.

Se tienen que tomar en consideración los problemas ocasionados por la falla del sistema. Estos sistemas pueden estar considerados para prevenir un sobrecalentamiento serio de equipo electrónico.

Las tuberías que contienen el refrigerante del acondicionamiento de aire u otros líquidos o vapores no deberán correr en el cuarto de control o cuartos de equipo en los que habite equipo electrónico.

Cada unidad del sistema de aire acondicionado deberá estar equipada con filtros capaces de remover el exceso de 90% de las partículas con un tamaño máximo permitido de 0.01 micrones. Con referencia en el manual ASHRAE.

Un sistema removedor de gas ácido deberá ser incluido como parte del sistema de aire acondicionado, para reducir los niveles de sulfuro de hidrógeno y dióxido sulfuroso a 3 partes por billón.

Las unidades de acondicionamiento de aire deberán cuadrar con la clasificación en el área eléctrica.

El sistema de control del acondicionamiento de aire deberá estar diseñado para activar la unidad automáticamente, si es necesario, por una falla de la unidad principal. El sistema de control deberá permitir la selección de la unidad como primaria o en espera.

CAPÍTULO

QUINTO

**DISEÑO DE LOS SISTEMAS
DE
AIRE ACONDICIONADO**

5.1 CRITERIOS GENERALES

Se recomienda utilizar un equipo dividido (manejadora y condensadora) que nos permite mayor flexibilidad, porque vencen caídas de presión de hasta 9" columna de H₂O. Instalándose, de preferencia, la manejadora de aire en un cuarto de maquinas y la unidad condensadora en la azotea del mismo, si es enfriada por aire. Además, cuando se diseñan cuartos de control a prueba de explosión es posible cumplir con la norma API -RP-554 "Process Instrumentation and Control" que establece en este tipo de cuartos la unidad de presión positiva debe estar protegida en caso de explosión. Si es este el caso, la condensadora no se instala en la azotea del cuarto de maquinas pero si a nivel de suelo, del lado opuesto al posible punto de explosión.

Se pueden utilizar también unidades paquetes convencionales y de última generación. Para cuartos de control pequeños con una carga térmica de hasta 15 T. R. se utilizan las unidades paquetes convencionales. El inconveniente de estos equipos es la poca caída de presión que logran superar (hasta 2" H₂O), lo que obliga a requerir equipo adicional. En cambio las unidades paquetes de ultima generación son mas flexibles ya que vencen mayores caídas de presión (hasta 4.5" H₂O), pero solamente se fabrican para carga térmica superiores de 15 T. R.

Para diseñar correctamente el sistema de retención de gases corrosivos es requisito indispensable conocer el Reporte de Corrosividad Ambiental en donde se indiquen las partes por billón de los gases corrosivos que existen en el cuarto de control. Cuando no es posible que sea proporcionado porque el cuarto es nuevo ó no es factible realizarlo, se tendrá que hacer las siguientes consideraciones.

Siendo la toma de aire exterior la entrada principal de los gases corrosivos al cuarto de control, se instala en ella el equipo principal de retención de los gases corrosivos, recomendándose, en el caso de las plantas industriales y plataformas marinas de PEMEX, una unidad de cama o lecho profundo con la finalidad de tener flexibilidad y evitar el cambio constante de los filtros, ya que los de lecho delgado obligarían a tener una política adecuada de mantenimiento que permitiera su cambio constante. Para retener los gases corrosivos infiltrados al cuarto de control, es suficiente con instalar una unidad de filtración con filtros de lecho delgado, posterior al equipo de aire acondicionado o una unidad de recirculación en el interior del cuarto de control.

La normatividad de PEMEX exige instalar, en lugares en donde se tenga presencia de gases, vapores, sustancias combustibles, inflamables, o explosivos, la toma de aire exterior a 12 metros del nivel del suelo y la internacional a 9 metros para asegurar el aire exterior libre de contaminantes. Protegiendo la toma de aire exterior como se indico anteriormente es posible asegura aire exterior libre de gases corrosivos contaminantes aun cuando no se instale la toma de aire exterior a esos niveles. Los gases explosivos no pueden ser retenidos por las medias químicas actuales, por lo tanto, es necesario que seguridad industrial instale detectores en la toma de aire exterior para paro total del equipo.

Para seleccionar las medias químicas requeridas, la Norma ISA-S71.04 en su Apéndice B menciona algunos de los contaminantes presentes en las emisiones de las plantas de procesamiento de petróleo o de combustibles fósiles, siendo estos los siguientes: ácido

sulfhídrico (H₂S), azufre (S), bióxido de azufre (SO₂), amoniaco (NH₃), hidrocarburos y mercaptanos.

Los contaminantes más comunes en las plataformas marinas de producción son el ácido sulfhídrico y el bióxido de azufre, en las refinerías son el ácido sulfhídrico y el amoniaco y en las estaciones de bombeo de gas LPG son el metano, bióxido de carbono y los óxidos de nitrógeno (NO_x). El metano y el bióxido de carbono no pueden ser retenidos por las medias químicas actuales.

5.2 SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO.

Los primeros sistemas de aire acondicionado que tenían equipo central proporcionaban solo aire templado para propósitos de confort y ventilación, con una red de ductos y un tipo de control relativamente simples. La adición de equipo de enfriamiento, humidificación y deshumidificación permitió proporcionar confort a lo largo de todo el año y en todos los climas. Mas adelante, se pudo lograr un nivel homogéneo de confort mediante la división de los espacios acondicionados en zonas con controles termostáticos individuales, aun cuando los requerimientos de calefacción y enfriamiento no fueran uniformes entre las diferentes partes de una construcción.

Esto condujo a la necesidad de instalar equipos y controles más sofisticados. Para entonces, los propietarios y arrendadores de construcciones también se habían vuelto más exigentes. En años recientes, el diseño se ha visto influenciado cada vez más por el énfasis en la calidad de aire interior, la conservación de la energía, el impacto ambiental, la seguridad y la economía.

El uso de computadoras digitales ha contribuido mucho a los avances alcanzados en la industria de calefacción ventilación y aire acondicionado y generalmente comparten elementos básicos comunes, aun cuando puedan parecer muy diferentes en cuanto a su apariencia y disposición. Estos sistemas también pueden tener grandes diferencias en la manera como se controlan, operan y más adelante los mencionaremos.

Retomemos un poco el capítulo anterior sobre los elementos más importantes en el control de las condiciones ambientales dentro del cuarto de control, como son: la temperatura, la humedad relativa, la retención del polvo, la retención de los gases corrosivos y la presurización del local.

Control de la Temperatura. - La temperatura interior recomendada en los cuartos de control con equipo electrónico es de 21°C. El calor generado por este equipo más la carga térmica ganada por el local, deben removerse con un serpentín de enfriamiento, instalado en la unidad manejadora de aire y conectado a una unidad condensadora enfriada por aire o agua. La regulación de la temperatura se realiza por medio de un termostato de cuarto ubicado en el interior del local que controla el funcionamiento de la unidad condensadora.

Control de la Humedad. - La humedad relativa recomendada en el interior del cuarto de control es de 50%. Dependiendo del porcentaje de humedad relativa del exterior, la diferencia se condensa en el serpentín de enfriamiento. Un humidostato de cuarto se emplea en su control, enviando una señal a la unidad condensadora, que seguirá trabajando,

disminuyendo la temperatura del local, aún abajo de la temperatura de diseño hasta conseguir la humedad requerida.

Retención del Polvo.- El tamaño de las partículas de polvo atmosférico que más afectan a los equipos electrónicos varían entre 0 y 30 micrones de diámetro. Los filtros absolutos con eficiencia del 95% ASHRAE son capaces de retener el 93% de partículas de hasta 1 micrón que representan el 97% del volumen de aire atmosférico en ese rango. Un 2% más, se retiene cuando se instalan filtros con eficiencias del 99.97% DOP en partículas de 0.3 micrones. Estos filtros retienen también las pequeñas partículas de carbón y/o alumina que se desprenden de los filtros de adsorción de gases y además retienen de manera eficiente los contaminantes aerosoles líquidos.

Retención de Gases Corrosivos.- La selección de la media química de los filtros de adsorción de gases dependerá de los gases corrosivos que existan en la atmósfera circundante del cuarto de control. La cantidad de media química que contendrán estos filtros va a depender de la concentración de esos gases corrosivos, por lo tanto, estos pueden ser de lecho delgado para bajas concentraciones o de lecho profundo para altas concentraciones.

La Presurización del Local.- La presión positiva recomendada en los cuartos de control es de 0.08 a 0.1 pulgadas de columna de agua de acuerdo a la Norma NFPA-496 “Standard for purged and pressurized enclosures for electrical equipment”. Para tener esa presión positiva es necesario inyectar un porcentaje de aire del exterior que depende de las condiciones constructivas del local. Como se puede ver en la Tabla VII, mientras más sellado sea un cuarto, los requerimientos de aire exterior será menor que en un local de construcción normal. Estos porcentajes están referidos al volumen total del local, incluyendo el espacio existente encima del falso plafón.

TABLA VII.- PORCENTAJES DE AIRE EXTERIOR SEGÚN EL TIPO DE CONSTRUCCION.

Tipo de construcción	Porcentaje
Construcción sellada	1%
A prueba de corrientes de aire	1.5 a 3.0%
Con pared de block de concreto sellado.	5 a 7%
Construcción típica	10 a 15%
Construcción deteriorada	17 a 25%

Para la protección del equipo y para la conservación de los filtros absolutos y de adsorción de gases, se requiere la instalación de una sección de prefiltrado compuesta con filtros metálicos y filtros de fibra de vidrio. Los filtros metálicos retienen basura y partículas grandes de polvo, protegen al serpentín y al ventilador de la Manejadora de Aire y son fáciles de limpiar. Se recomiendan con eficiencia de 20-25% ASHRAE. Los filtros de fibra de vidrio con una eficiencia del 30-35% ASHRAE pueden retener partículas de polvo de 2 a 60 micrones de diámetro, aunque su eficiencia más alta es en el rango de 30 a 60

micrones, evitando de esta manera la rápida saturación de aquellos filtros, alargando su vida útil.

En la figura 5.1 se puede ver un diagrama esquemático con el arreglo recomendado de la instalación de un Sistema de Aire Acondicionado que cumpla con estos requerimientos necesarios en el control ambiental de un cuarto de control.

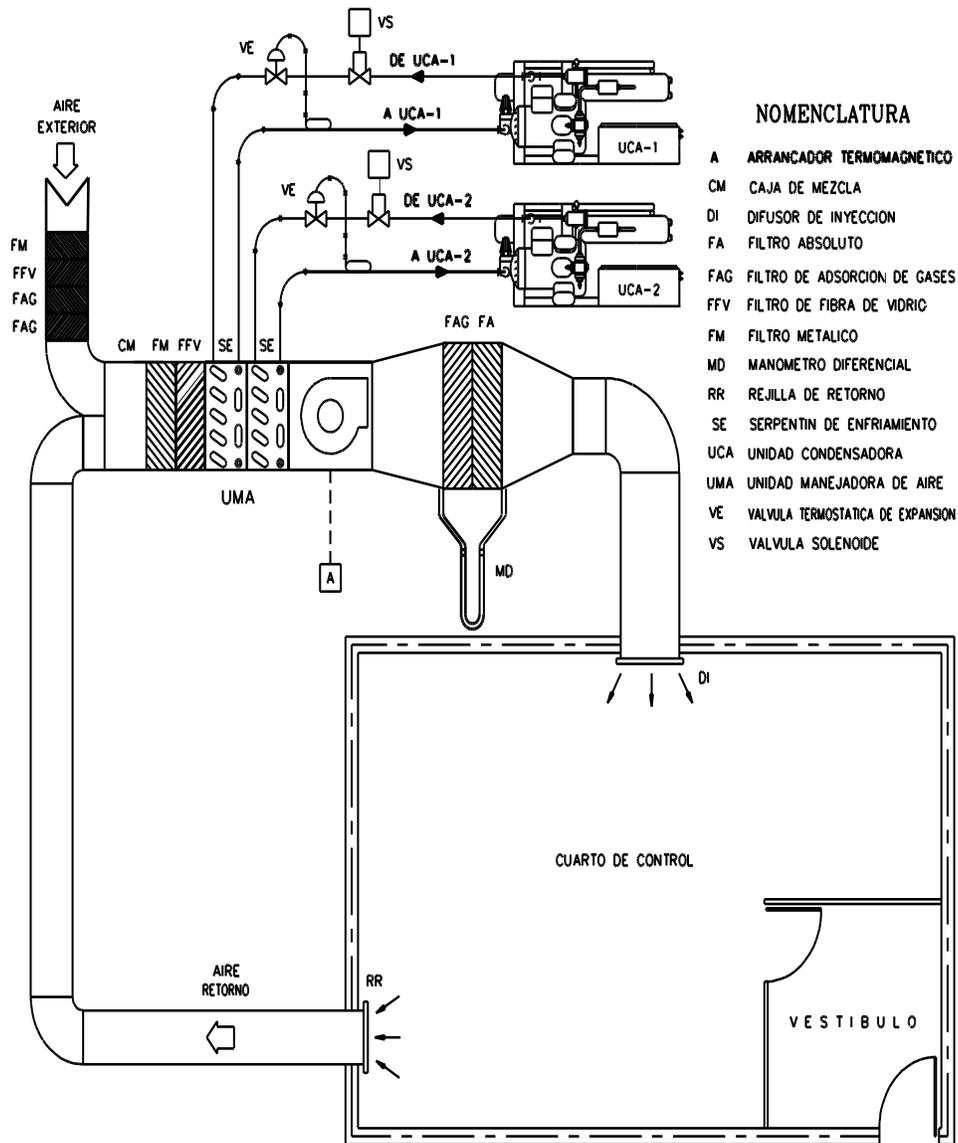


FIGURA 1.- INSTALACION RECOMENDADA DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO

5.3 SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO CON EQUIPO DIVIDIDO

El diseño del un sistema de aire acondicionado con equipo dividido, que nos permita proporcionar las condiciones que requiere un cuarto de control, comprende los siguientes equipos (ver figura 5.2):

Una unidad manejadora de aire con ventilador del tipo centrifugo para manejo del aire, ya sea con aspas inclinadas hacia delante o del tipo airfoil, dependiendo de la caída de presión estática. La manejadora constara de dos serpentines de enfriamiento al 100% de capacidad cada uno, conectados a su respectiva condensadora. Estos serpentines manejaran refrigerante del tipo ecológico. En la sección de filtros, se instalaran los prefiltros que consisten en filtros metálicos lavables y filtros de fibra de vidrio. La unidad manejadora tendrá un motor de relevo alambrado eléctricamente de tal forma que pueda funcionar inmediatamente en caso de falla del motor principal.

Una unidad de cama profunda instalada en la toma de aire exterior para retener la principal entrada de gases corrosivos al cuarto de control, que consiste en una sección de prefiltrado con filtros de fibra de vidrio, una o dos secciones de media química de lecho profundo que nos permitan controlar los gases corrosivos mas comunes (H_2S y SO_2 en plataformas marinas, H_2S y NH_3 en las refinerías y NO_x en las estaciones de bombeo de gas LPG) y una sección de filtros absolutos. Esta unidad maneja el flujo de aire exterior y tendrá su propio ventilador que permita vencer la caída de presión estática de los filtros que la componen.

Una unidad de filtración para retener los gases corrosivos infiltrados al cuarto de control, compuesta con una o dos secciones de filtros de adsorción de gases de lecho delgado y una sección de filtros absolutos. Se recomienda instalar un manómetro diferencial en esta unidad que nos permita determinar el momento en que sea necesario sustituir el filtro absoluto.

Dos unidades condensadoras enfriadas por agua o aire al 100% de capacidad cada una, conectadas a su respectivo serpentín de enfriamiento instalado en la unidad manejadora de aire. Las condensadoras estarán integradas con compresores semiherméticos y condensadores de casco y tubos enfriados con agua ó condensadores de tubos enfriados con ventiladores axiales. Una unidad condensadora trabajara normalmente y la otra estará de relevo.

Dentro del cuarto de control se instala un termostato de cuarto que controle la temperatura interior del cuarto de control, un humidostato de cuarto que controle la humedad relativa y un monitor electrónico de corrosión que este monitoreando la calidad del aire interior.

La esclusa en la entrada del cuarto de control, es necesaria para mantener la presión positiva en el local y evitar la fuga del aire acondicionado.

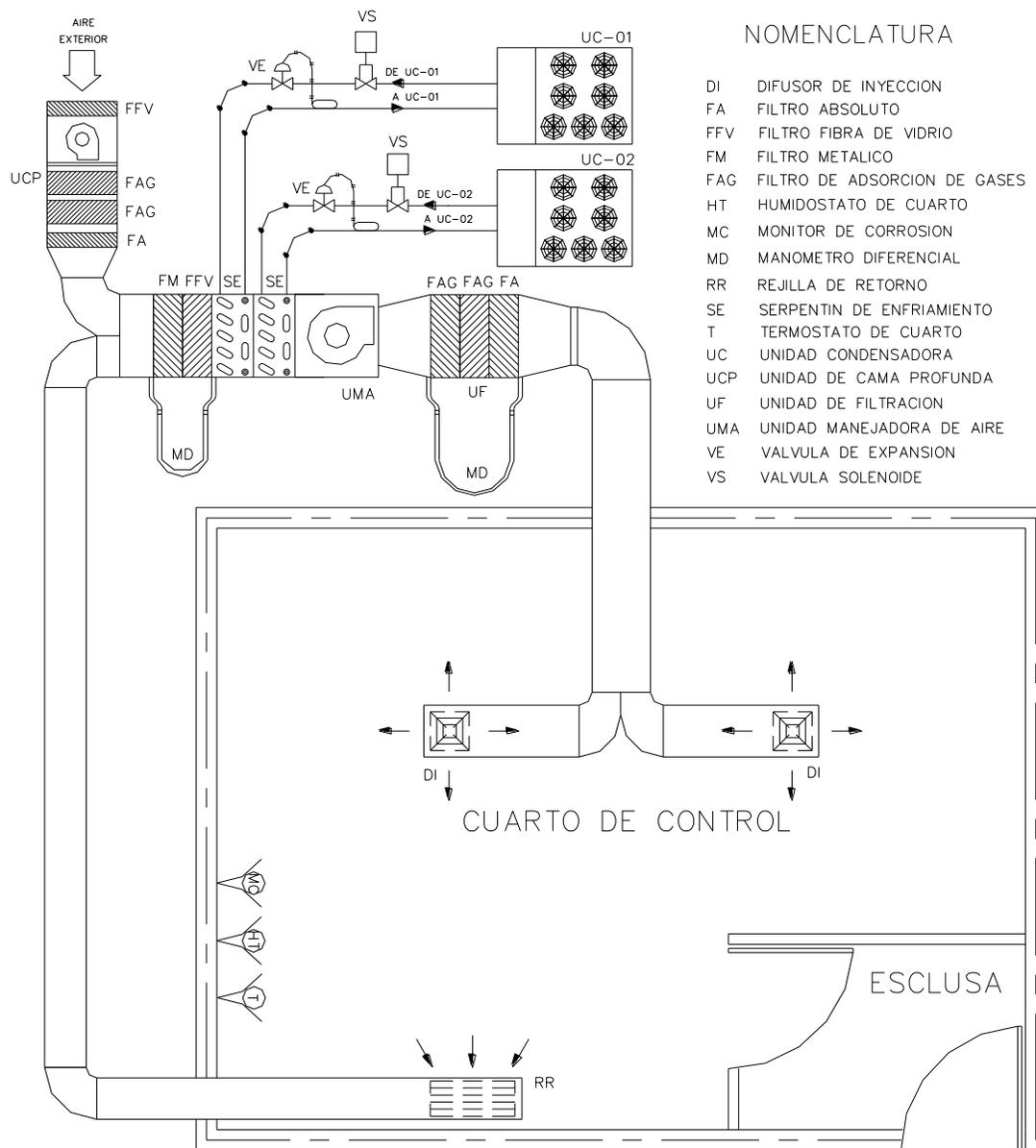


FIGURA 5.2. SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO CON EQUIPO DIVIDIDO

5.4 SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO CON EQUIPO PAQUETE CONVENCIONAL.

El diseño del un sistema de aire acondicionado con equipo paquete convencional, que nos permita proporcionar las condiciones que requiere un cuarto de control, comprende los siguientes equipos (ver figura 5.3):

Dos unidades acondicionadoras de aire tipo paquete convencional (una trabajando normalmente y otra de relevo) integradas con ventilador para el evaporador del tipo centrifugo y alabes curvados hacia adelante con acoplamiento directo a un motor eléctrico. Ventilador para el condensador del tipo axial con acoplamiento directo a un motor eléctrico. Serpentes de condensación y evaporación. Compresor hermético para refrigerante ecológico y sección con filtros de fibra de vidrio.

Una unidad de cama profunda instalada en la toma de aire exterior para retener la principal entrada de gases corrosivos al cuarto de control, que consiste en una sección de prefiltrado con filtros de fibra de vidrio, una o dos secciones de media química de lecho profundo que nos permitan controlar los gases corrosivos mas comunes (H_2S y SO_2 en plataformas marinas, H_2S y NH_3 en las refinerías y NO_x en las estaciones de bombeo de gas LPG) y una sección de filtros absolutos. Esta unidad maneja el flujo de aire exterior y tendrá su propio ventilador que permita vencer la caída de presión estática de los filtros que la componen.

Una unidad de recirculación para retener los gases corrosivos que se infiltren al cuarto de control, compuesta con una sección prefiltrado con filtros de fibra de vidrio, una o dos secciones de filtros de adsorción de gases de lecho delgado y una sección de filtros absolutos. Esta unidad manejará el flujo total del aire inyectado al local y tendrá su propio ventilador que permita vencer la caída de presión estática de los filtros que la componen.

Dentro del cuarto de control se instala un termostato de cuarto que controle la temperatura interior del cuarto de control, un humidostato de cuarto que controle la humedad relativa y un monitor electrónico de corrosión que este monitoreando la calidad del aire interior.

La esclusa en la entrada del cuarto de control, es necesaria para mantener la presión positiva en el local y evitar la fuga del aire acondicionado.

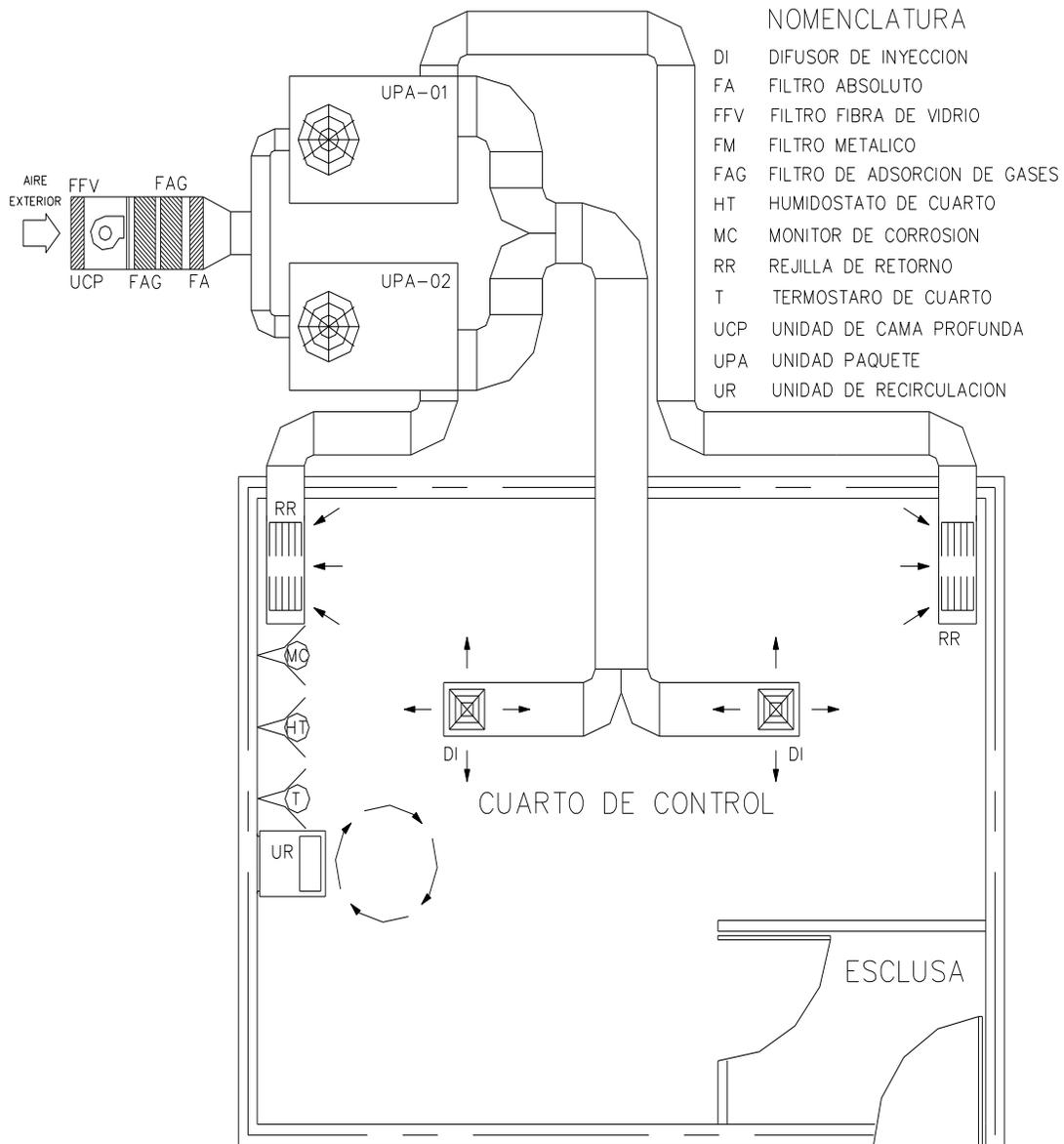


FIGURA 5.3.- SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO CON EQUIPO PAQUETE

5.5 SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO CON EQUIPO PAQUETE DE ÚLTIMA GENERACIÓN.

El diseño del un sistema de aire acondicionado con equipo paquete de última generación, que nos permita proporcionar las condiciones que requiere un cuarto de control, comprende los siguientes equipos (ver figura 5.4):

Dos unidades acondicionadoras de aire tipo paquete de ultima generación (una trabajando normalmente y otra de relevo) integradas con ventilador para el evaporador del tipo centrifugo y alabes curvados hacia adelante con acoplamiento directo a un motor eléctrico. Ventilador para el condensador del tipo axial con acoplamiento directo a un motor eléctrico. Serpentes de condensación y evaporación. Compresor hermético para refrigerante ecológico y sección con filtros de fibra de vidrio.

Una unidad de cama profunda instalada en la toma de aire exterior para retener la principal entrada de gases corrosivos al cuarto de control, que consiste en una sección de prefiltrado con filtros de fibra de vidrio, una o dos secciones de media química de lecho profundo que nos permitan controlar los gases corrosivos mas comunes (H_2S y SO_2 en plataformas marinas, H_2S y NH_3 en las refinerías y NO_x en las estaciones de bombeo de gas LPG) y una sección de filtros absolutos. Esta unidad maneja el flujo de aire exterior y tendrá su propio ventilador que permita vencer la caída de presión estática de los filtros que la componen.

Una unidad de filtración para retener los gases corrosivos infiltrados al cuarto de control, compuesta con una o dos secciones de filtros de adsorción de gases de lecho delgado y una sección de filtros absolutos. Se recomienda instalar un manómetro diferencial en esta unidad que nos permita determinar el momento en que sea necesario sustituir el filtro absoluto.

Dentro del cuarto de control se instala un termostato de cuarto que controle la temperatura interior del cuarto de control, un humidostato de cuarto que controle la humedad relativa y un monitor electrónico de corrosión que este monitoreando la calidad del aire interior.

La esclusa en la entrada del cuarto de control, es necesaria para mantener la presión positiva en el local y evitar la fuga del aire acondicionado.

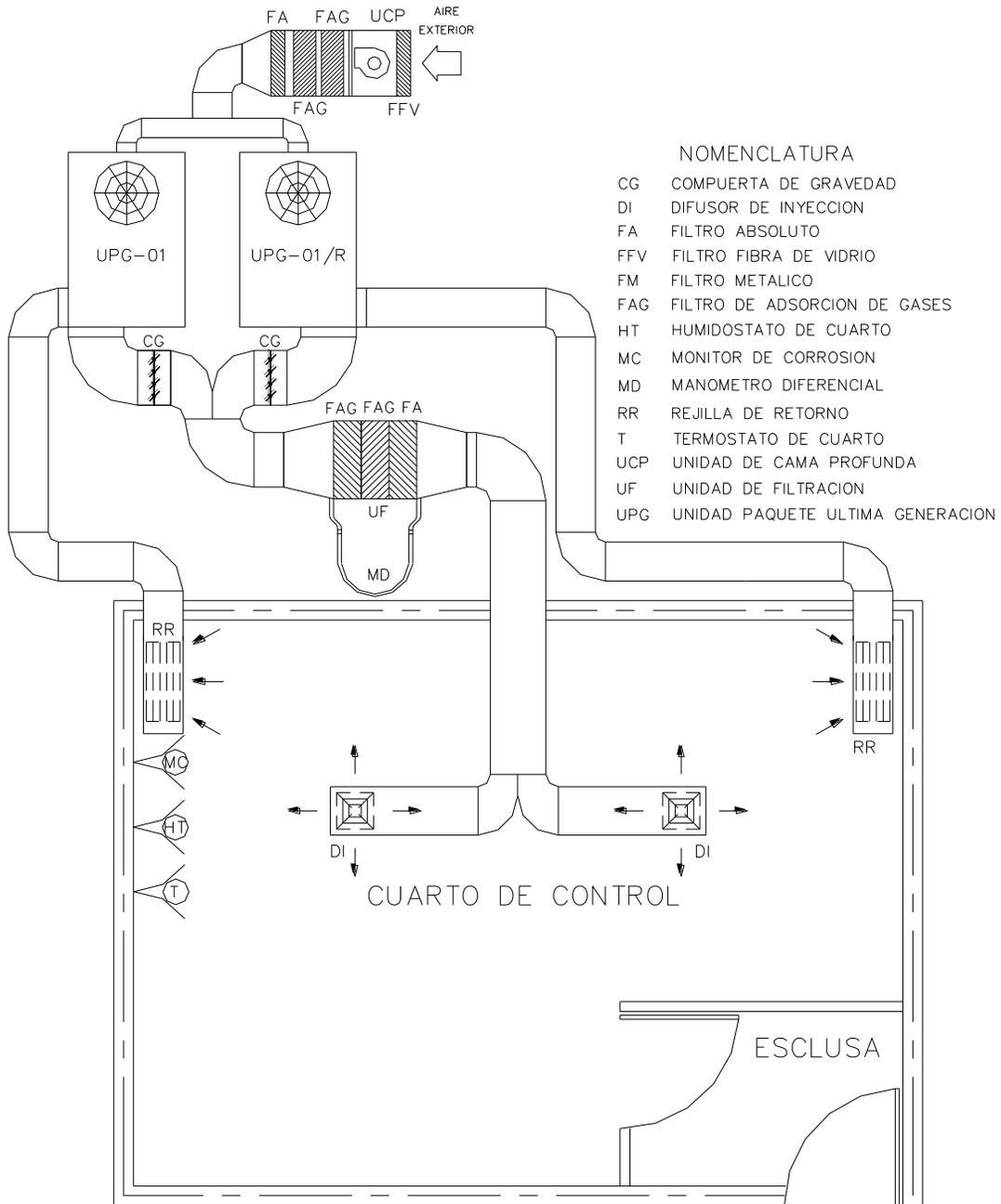


FIGURA 5.4. SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO CON EQUIPO PAQUETE DE ULTIMA GENERACION

CONCLUSIONES.

El hombre, desde su existencia con el fin de preservar la especie y con el afán de lograr y mejorar sus condiciones de vida, ha desarrollado constantemente su ingenio durante su larga historia.

Para esto descubrió lo que se le conoce como condiciones de confort en el ambiente. Y no solo para la humanidad, que inclusive también lo usan para optimizar las herramientas de trabajo como son la maquinaria (parte fundamental del desarrollo de un país) y a su vez la conservación de las instalaciones donde labora (edificios, naves industriales, plataformas, entre otras).

Para aquellos que laboran en una industria, se percatan de que casi toda la instalación productiva está constituida de diversos metales; grandes reactores donde ocurren las transformaciones químicas operando a presiones y temperaturas elevadas, tuberías que transportan las materias primas así como los productos, tanques de almacenamiento, bombas, entre otras.

Por todo esto podemos decir, sin temor a equivocarnos, que aun y cuando se nos escape de la coincidencia, vivimos en una civilización basada en el metal y que por lo tanto requerimos que los materiales metálicos en los cuales está basada dicha civilización industrial sean estables en nuestra atmósfera terrestre y que al menos duren en uso varios años.

Pero lo **mas importante y es lo que hemos buscado “EL MEJORAMIENTO Y BUEN FUNCIONAMIENTO DE LOS CUARTOS DE CONTROL INDUSTRIALES”**, y así maximizar los recursos que existen dentro de ellos.

Y como ya lo mencionamos antes existen en la actualidad una gama de diferentes tipos de sistemas de acondicionamiento de aire, para mantener las condiciones adecuadas y evitar que nuestra de tecnología se encuentran bajo una serie de desventajas.

Una de estas desventajas es el mal funcionamiento o deterioro de equipo causando daños irreparables, todo esto gracias a la presencia de gases corrosivos en el ambiente, pero existen medidas de seguridad para contrarrestar el efecto.

Una de ellas es la protección preventiva de los elementos electrónicos de los cuartos de Control Industriales, evita costos excesivos e innecesarios en la reparación y sustitución de equipos electrónicos que resultan ser dañados por un ambiente muy corrosivo en la zona.

Otra es la existencia de ISA que proporciona información sobre las causas y efectos ocasionados por los principales contaminantes atmosféricos y esta nos permite tomar medidas para retener dichos contaminantes.

Inclusive gracias a que existe esta norma no solo podemos tener nuestros equipos protegidos si no también un confort agradable en el ambiente laboral y con instalaciones adecuadas.

Un buen diseño del sistema de aire acondicionado será la clave para poder brindar la protección adecuada en el cuarto de control a fin de controlar todos los factores ambientales que afectan directamente el equipo electrónico, y así lo más importante es eliminar o minimizar los problemas que afecten a nuestra labor, brindar una excelente calidad de aire y obtener un ambiente de confort efectivo en la relación hombre-maquina.

BIBLIOGRAFÍA O REFERENCIA.

1. Osborne, Michael W. And Smith, Gary J. "Preventive Maintenance of Computer Systems by environmental Controls". Tappi Journal Vol. 73 N° 11, November 1990.
2. Fisher Controls. "Environmental Conditions for Instrumentations Systems". Installation planning Manual. PN4:006, Revision B, June 1991.
3. Purafil, Inc. Información Técnica. P.O. Box 1188, Norcross Georgia 30091 USA.
4. Considine, M. Douglas. "Process Control Handbook". New York. USA, McGraw Hill.
5. Carrier Air Conditioning company Co. "Handbook Of Air Conditioning Company". Barcelona Mc Graw Hill, 1996.
6. Hernández Goribar, Eduardo. "Fundamentos de Aire Acondicionado y refrigeración". México, DF: Editorial Limusa, 2004.
7. Mc Quiston, Parker, Splinter. "Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado", México, DF. Editorial Limusa, 2003.
8. Manríquez Velarde, José Ángel. "Transferencia de calor".
9. J. Alarcón Creus. "tratado practico de refrigeración".
10. Burgess H. Jennins. Samuel R. Lewis. "Aire Acondicionado y Refrigeración
11. Standard ISA-S71.04-1985. "Environmental Conditions for process measurement and Control Systems: Airborne contaminants". Instrument Society of America, Research Triangle Park, North Caroline USA., 1985.
12. www.carrier.com.mx
13. www.york.com.mx
14. www.trane.com
15. www.imp.mx