

Resumen del diseño
para
Sala de equipos eléctricos

MI Air Systems, LLC
5845 Steeplechase Blvd., Suite F
Cumming, GA 30040
USA

- 1.0 Resumen**
- 2.0 Normas aplicables**
- 3.0 Factores y consecuencias de asuntos que serán abordados**
 - 3.1 Temperatura y humedad**
 - 3.2 Partículas**
 - 3.3 Gases**
 - 3.4 Presurización**
 - 3.5 Recirculación**
 - 3.6 Aire acondicionado**
- 4.0 Diseño de Enfoque – Aire acondicionado**
- 5.0 Diseño de Enfoque - Partículas**
 - 5.1 Presurización**
 - 5.2 Recirculación**
- 6.0 Diseño de Enfoque - Gases**
 - 6.1 Presurización**
 - 6.2 Recirculación**
- 7.0 Ejemplos de modelos**

1.0 Resumen

El propósito de proveer aire de alta calidad en una sala eléctrica (también de control, salas de MCC, etc.) es mejorar cualquiera o todos los componentes de fiabilidad, seguridad y salud ocupacional del sistema)

El equipo eléctrico, ya sea equipo de maniobra pesado, unidades o equipos electrónicos serán mucho más fiables en un entorno limpio y estable. Los beneficios es que tendrán menos fallas, mejor producción y bajo costos de operación.

Las partículas y los contaminantes gaseosos son de interés primordial, y la temperatura y la humedad también se deben analizar como parte del tratamiento de la calidad del aire en interiores.

El tratamiento de partículas o contaminantes gaseosos estarán separados en esta guía. La mayoría de las aplicaciones requieren partículas y una pequeña proporción requieren de protección contra los contaminantes gaseosos. Además, los cálculos también serán diferentes.

La filtración de las partículas es típicamente de bajo costo para operar, más simple, y la eficacia de filtración aumenta típicamente a medida que se van cargando los filtros. A menos que, fallen catastróficamente por implosión, pero esta es un caso extremo.

La filtración gaseosa requiere de algunos medios que serán monitoreados y mantenidos. La eficacia de la filtración disminuirá con el tiempo si el proceso de eliminación requiere de una reacción química y la profundidad del medio activo como se hace menor que el mínimo requerido. En consecuencia, una gran cantidad de daños se puede hacer en un período muy corto de tiempo si un sistema de presurización es realizada sin la eficaz profundidad de la capa de material necesaria para la eliminación de contaminantes.

La reacción se produce en una "zona de transferencia de masa", en el que habrá medios que estén casi gastado, hasta los medios de comunicación nuevos. Una profunda de la capa de los medios no se vence de manera uniforme. La zona de transferencia de masa avanza a través de la capa hasta la profundidad de los medios activos se hace menor que el mínimo requerido y se produzca el avance.

2.0 Normas aplicables

Hay varios documentos claves que se hace referencia en este resumen. Estos incluyen:

- a) La Sociedad de Instrumentación de América (Instrument Society of America Standard), norma ISA-71.01-1985. Condiciones ambientales para la Medición de Procesos y Sistemas de Control: Temperatura y Humedad (Ref 1)
- b) La Sociedad de Instrumentación de América, norma ISA-71.04-1.985. Condiciones ambientales para la Medición de Procesos y Sistemas de Control: Los contaminantes transportados por el aire (Ref. 2)
- c) Norma OSHA 1910 - Seguridad y Salud Ocupacional (ref 3)
- d) NFPA 70, Código Eléctrico Nacional. (Ref 4)
- e) NFPA 496, Norma para locales a presión, equipo eléctrico (Ref. 5)

3.0 Factores y consecuencias de asuntos que serán abordados

Los siguientes son algunos de los factores a ser abordados, y las posibles consecuencias si no lo son.

3.1 Temperatura y humedad

El agua es un componente esencial de la corrosión. Es de sentido común que la baja humedad sea preferible a la alta humedad y que las fluctuaciones no vayan a ayudar a la situación.

La temperatura también afecta a la velocidad de reacción. Cuanto mayor sea la temperatura, mayor será la velocidad de corrosión.

Las fluctuaciones en la temperatura también dan lugar a fluctuaciones en la humedad.

Con las normas de control de aire acondicionado, las fluctuaciones son normales como los ciclos de dispositivo "encendido" y "apagado" en el diferencial del controlador.

3.2 Partículas

Las partículas deben ser removidas del aire. Se trata de un cuerpo extraño cuyo comportamiento es a menudo desconocida en la presencia de equipos eléctricos.

3.3 Gases

Si se encuentran gases corrosivos, tales como H₂S y SO₂, por ejemplo, tienen que ser removidos debido a que pueden corroer los metales, especialmente cobre y plata en una situación de sala eléctrica. Esto es más de un problema con el cumplimiento RoHS, libre de plomo, ya que el plomo es mucho más resistente a la corrosión de la plata.

Si la corrosión ha sido identificada como un factor en la fiabilidad de los componentes, el espacio debe ser "clasificado". Esto implica la colocación de un cupón de control de la corrosión en el espacio y que debe ser analizado la corrosión e

MI Air Systems, LLC., 5845 Steeplechase Blvd., Suite F,
Cumming, GA 30040

Ph: 678-456-6197 Fax: 678-456-6198

identificar el material. Esto permitirá una estimación de los niveles de desafío, y seguirá el tamaño del sistema.

3.4 Presurización

Lo ideal sería que un espacio requiera de algún tipo de presurización positiva. Esto ayuda a reducir la entrada de contaminantes externos porque toda fuga es "fuera".

Se trata de un enfoque común para tratar de controlar la calidad del aire en los interiores mediante la presurización. La teoría es que todo el aire que entra en el espacio viene a través de un dispositivo de tratamiento y alcanza una cierta norma. Por dilución, la sala se limpiará eventualmente.

En una situación del mundo real, habitualmente estamos tratando con una sala donde la gente viene y va, las puertas se cierran y se abren. También están bajo presión el mantenimiento de los conjuntos de filtros, por lo que la calidad del aire de entrada debe ser monitoreada caso contrario ocurrirá más daño en el sistema de funcionamiento, que se apagará.

A menos que un espacio está muy por encima a presión y el sistema de filtración tenga un tiempo de respuesta rápida, y la capacidad, tendrá algún ingreso por parte de los contaminantes externos.

NFPA 496, Ref. 5, tiene normas que cubren los espacios para lugares peligrosos que requieren caudales de al menos 60 pies por minuto a través de las aberturas y las puertas cuando se abren. En la mayoría de los casos no se trata de lugares peligrosos, pero los 60 pies por minuto es citado como un ejemplo de la cantidad de aire que se requiere para evitar la entrada aún cuando las puertas estén abiertas, etc.

Un nivel aceptado de presurización para salas limpias por encima de los niveles ambientales está en el área de 0,05 pulgadas de calibre agua, o Pa. 13 Esta cifra puede encontrarse en ISO, ASHRAE, etc. y el 0,05 "parece ser el diferencial de presión más aceptada. Sus raíces probablemente provengan de la Norma Federal 209B, sección 30,5 (desde 24/04/73) que establece que "El diferencial mínimo de presión positiva entre la habitación y una zona adyacente de requisitos menos limpias debería ser de 0,05" wg, con toda la cerradura de la entrada"

Se debe tener cuidado cuando se aplica este nivel. No es una garantía y una sala de exposición, por ejemplo, requerirá en exceso de 0,5 "WG con viento de 30 minutos por horas para evitar la infiltración.

La presurización es parte de la solución, pero no por completo.

3.5 Recirculación

La filtración de recirculación se ha demostrado para limpiar el aire en "órdenes de magnitud" más rápido que solamente con la presurización.

Por lo general, habrá momentos en que se viola la integridad de habitación, como las personas que entran y salen, y también puede ser generado internamente los contaminantes.

Los costos asociados a la limpieza de una habitación interna o por presurización son órdenes de menor magnitud. Esto no sólo se basa en los costos iniciales, sino también el mantenimiento.

3.6 Aire Acondicionado

El aire acondicionado a menudo pasa por alto como factor que contribuye a los problemas de calidad del aire en interiores, y como un contribuyente potencial a la solución.

Un sistema de aire acondicionado debe ser estudiado como una fuente de contaminantes del aire exterior y también por su efecto sobre el control de la temperatura y la humedad.

Los mayores problemas provienen de las unidades de tratamiento de aire que se encuentran fuera del espacio controlado.

4.0 Diseño de Enfoque-Aire acondicionado

Diseño de un sistema adecuado es un proceso de múltiples fases y es lógico. Este sistema es un componente muy importante en la provisión de un entorno operativo de sonido para equipo eléctrico, y se pasa por alto con frecuencia.

ISA S71.01-1985 es una norma (ref. 1) que establece que "las clasificaciones uniformes de las condiciones de temperatura y humedad para la gestión de procesos industriales y sistemas de control".

Tabla 1- Ubicación, clase y niveles de severidad [Extracto]

Ubicación	Clase	Nivel de seguridad	Temperatura. Límites (°C)	Punto de Control de tolerancia (°C)	Máxima velocidad de cambio (°C/hr)	Humidity Limits (% RH)	Punto de Control de tolerancia (% RH)	Contenido máximo de humedad (Kg/Kg aire seco)
Aire acondicionado	A	1	18-27	+/- 2	+/- 5	35-75	+/- 5	N.A.
		2	18-27	+/- 2	+/- 5	20-80	+/- 10	N.A.
		X	P.S.E.	P.S.E.	P.S.E.	P.S.E.	P.S.E.	P.S.E.
Temperatura Cerrada controlada	B	1	15-30	+/- 2	+/- 5	10-75	N.A.	N.A.
		2	5-40	+/- 3	+/- 10	10-75	N.A.	0.020
		3	5-40	+/- 10	+/- 20	5-90	N.A.	0.028
		4	5-50	+/- 10	+/- 20	5-90	N.A.	0.028
		X	P.S.E.	P.S.E.	P.S.E.	P.S.E.	N.A.	P.S.E.

N.A. – No aplicable

P.S.E.- Para ser especificado

Principalmente nos centraremos en la Clase A, situaciones donde se controlan la temperatura y la humedad, la humedad y la clase B, situaciones donde la temperatura está controlada, pero no hay humedad relativa.

En la Tabla 1, una clase A1, por ejemplo, tiene control de temperatura y humedad donde la temperatura debería estar dentro de 18-27 ° C, punto de control de + / - 2 ° C, velocidad máxima de cambio por hora + / - 5 ° C,% humedad relativa entre 25 a 75%, con un control de punto de tolerancia + / - 5%. Este es el nivel más alto en el grupo A.

Una vez más en la Tabla 1, una clase B1, por ejemplo, tiene control de temperatura donde la temperatura debería estar dentro de 15-30 ° C, punto de control de + / - 2 ° C, velocidad máxima de cambio por hora + / - 5 ° C, % humedad relativa por debajo de los resultados de operación en el intervalo de 10 - 75%. Este es el nivel más alto en el grupo B.

Hay usuarios definidos en los Niveles de gravedad "X" que pueden ser seleccionados dentro de las clases que permiten otras tolerancias y rangos a ser seleccionados, siempre y cuando estén dentro de los rangos. Por ejemplo AX sería un espacio con controles de temperatura y humedad con límites más estrictos.

Normalmente, si un acondicionador de aire se dimensiona adecuadamente, y que no se encuentre en una situación de desierto, la habitación será un B1, por definición y un A1 por funcionalidad. La humedad será controlada dentro de los límites de humedad establecidos en la tabla 1 de la Norma.

Es mucho más barato que instalar un sistema de paquetes pero no puede ser la mejor inversión en los polígonos industriales. Considere lo siguiente:

- i. Bobinas de intercambio de calor son cada vez menores para la misma capacidad. Esto significa una reducción de la separación de aletas (más cerca) y de geometría tales como aletas independientes establecidas (abertura). Estos son más susceptibles a la obstrucción en los emplazamientos industriales;
- ii. Los motores son a menudo de tipo abierto para la refrigeración;
- iii. Paneles de chapa de metal son muy finas, no están bien sellados y sólo están sujetos con tornillos pequeños;
- iv. Los medios eléctricos no están bien selladas;
- v. A menudo están equipados con economizadores que dibujan sin filtros en el aire acondicionado en el lapso de temporadas para reducir el consumo de energía de calefacción y refrigeración.

Nuestras recomendaciones para el acondicionamiento del aire incluyen:

- i. Tamaño de la carga, y no sobredimensionar el control de humedad ya que será mejor;
- ii. Monte el controlador de aire en el interior del espacio para eliminar conductos externos que pueden atraer los contaminantes;
- iii. Integrar la filtración mejorada del aire de retorno en el controlador aéreo;
- iv. Realizar refrigeración y calefacción para reducir los ciclos y mantener menor fluctuaciones en la temperatura y la humedad;
- v. Usar los condensadores enfriados de agua, si está disponible, o los dispositivos externos del ventilador forzado. Estos deben ser configurados para adaptarse a la situación. Por ejemplo, el control de carga de presión, pulsar limpieza de la bobina en situaciones de enpolvamiento;
- vi. Tener Ollas de acero de drenaje con pendientes generosas para asegurar condensado el drenaje con eficacia y evitar la formación de moho.
- vii. Eliminar la función economizador de aire a menos que venga a través de un sistema de filtración para adaptarse a los objetivos del sitio.
- viii. Establecer una clase BX con límites de temperatura 18-27 ° C, la Tolerancia del punto de control + / - 2 ° C, máximo rango de cambio + / - 5 ° C / hr, el contenido máximo de humedad 0,012 kg / kg de aire seco, etapa 2 de enfriamiento como un mínimo.

5.0 Diseño de Enfoque - Partículas

La Sección 5 Contaminantes aéreos: Sólidos de ISA-S71.04-1985 sugiere que "haga todo lo posible para reducir al mínimo la exposición a las partículas en suspensión en el aire". El nivel requerido dependerá de la naturaleza de los contaminantes y el impacto en el equipo. Propiedades de que el equipo de efecto incluyen:

- La permeabilidad magnética donde las partículas son magnéticas.
- Los efectos de conductividad térmica donde los componentes de rechazo de calor quedan aislados con acumulación.
- La conductividad eléctrica de polvos tales como metales, negros de humo, etc.
- Adhesividad de contaminante que pudiera recubrir la superficie.
- Reactividad química tales como sales, cenizas, etc.
- Abrasividad del material tales como minerales, silicio, etc. que recibirá entre el movimiento y las piezas de contacto.

Tabla 2 de la sección 5. Partículas clasificadas como las siguientes:

Clasificación de los contaminantes por el aire

Tamaño de las partículas	Clases	Nivel de severidad. Concentración medida en $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
		1	2	3	X
>1mm	SA	< 1000	< 5000	< 10000	≥ 10000
100 μm to 1000 μm	SB	< 500	< 3000	< 5000	≥ 5000
1 μm to 100 μm	SC	< 70	< 200	< 350	≥ 350
< 1 μm	SD	< 70	< 200	< 350	≥ 350

La situación que nos ocupa se puede comparar a tener un vaso de Coca-Cola y quitar el color mediante la adición de líquido claro por dilución, con un disparo ocasional de Coca-Cola agregada. La temperatura del vidrio de coca cola también se debe mantener.

Para demostrar una situación típica, vamos a tomar un ejemplo de un tamaño estándar habitación MCC, 100 'de largo x 30 de ancho x 20 "de alto. El volumen es 60.000 pies ³, o 1700 m³.

Supongamos que los contaminantes externos son el polvo a 10 mg / m³. Este es un sitio polvoriento industrial que está por debajo de la norma OSHA 1910.1000 Tabla Z3-Nivel aceptable para el "polvo inerte y de molestia" - Ref 3, que establece un límite de 15 mg / m³.

Nota: Estamos hablando de estos niveles tan típicos y no se ocupan de cuestiones de sílice respirable donde los niveles permitidos son menores.

Partículas: Habrá 17 gramos de polvo, o 0,5 ozs en el espacio. Si suponemos un flujo de 5% del volumen de la sala por minuto mantener la habitación limpia, o $85 \text{ m}^3 / \text{min}$, tendremos que eliminar $854 \text{ mg} / \text{min} = 1230 \text{ gramos por día} = 38 \text{ g} / \text{día}$.

5.1 Presurización

Para los lugares no peligrosos, se sugiere que una figura estimada de al menos 5% del volumen de la sala, se utiliza para la filtración del tamaño del sistema, o al menos 30 pies cúbicos por persona para el metabolismo normal de la persona. Así mismo, esto debería ser controlado de manera dinámica por un transductor de presión y un dispositivo de control de velocidad.

Si el área es peligrosa, un procedimiento completo de diseño se establece en los Manuales NFPA, y estos deben seguirse.

Hay muchas ventajas en tener la velocidad del ventilador controlado por la presión de la sala. Considere lo siguiente:

- Se permite que los filtros y ventiladores sean de gran tamaño, lo que permite maximizar la vida útil del filtro.
- Se permite que los beneficios de un programa de sellado de la sala para ser observada inmediatamente.
- La energía es más eficiente.
- La homogeneidad de los equipos donde se pueda aplicar un sistema de tamaño en múltiples aplicaciones.

Lo importante de la presurización es que tiene que requiere de un buen filtro, que los filtros se mantengan.

De la Tabla 2 Sección 5 de ISA-S71.04-1985, en una relación de masas, las partículas de tamaño sub 100 micras representan aproximadamente el 8% de la masa total de partículas en un nivel de gravedad 1 área. Normalmente, las partículas de menor tamaño pasarán por alto los sellos, etc. mucho más fáciles que las de mayor tamaño, por lo que la eficiencia de filtración se debe establecer para eliminar de manera eficaz todas las partículas.

Si hay alguna fuga, los filtros bypass, los medios usados, o el viento inducido frente a la entrada de aire, el bajo nivel de contaminación requerida no se cumplirá.

Nuestras recomendaciones para un espacio son: operar dentro de un nivel de gravedad en la Tabla 2. Para presurización, sugerimos:

- i. Flujo de 5% del volumen de la sala por minuto.
- ii. Poner la calefacción en sentido contrario a los filtros consumidos, si el aire ambiental es propenso a disminuir por debajo de los 35- 40 °F. (2- 4 °C)
- iii. Evaluar si la carga de polvo es grave y si pulsar el aire de limpieza por reversa está justificada.
- iv. Recomendar completos filtros de cierre frontal para reducir el bypass;
- v. Utilizar la variable de velocidad de los controles para mantener una presión fija en vez de un volumen fijo de aire exterior.

5.2 Recirculación

Esta área debe ser abordada al actuar como un filtro de pulido para el espacio.

Al filtrar el aire que está dentro del espacio, los siguientes beneficios se obtendrán:

- i. Baja energía a través de la reducción del aire externo.
- ii. El aumento de la estabilidad de la temperatura y humedad.
- iii. Bajar los niveles de contaminantes.
- iv. Olvidar situaciones del mundo real donde el personal abra y cierre puertas y permitir que los contaminantes entran al medio ambiente protegido.

La recirculación de los dispositivos debe estar equipada con filtros que permitan:

- i. 5-10% del volumen de la sala por la velocidad de circulación por minuto. 5% en espacios cerrados, el 10% en espacios abiertas.
- ii. Eficiencia de la filtración de partículas al menos ser MERV 11, o de MERV 14.
- iii. Lo ideal es integrar en una unidad de control de temperatura montado en el interior.

6.0 Diseño de enfoque - Gases

Los gases corrosivos como el cloro, ácido sulfhídrico, dióxido de azufre, etc. pueden estar en niveles donde su eliminación se considere necesaria. Estos reaccionan con metales como el cobre y la plata, y causan fallas al equipo eléctrico. Casi del mismo modo como las partículas proveen un ambiente limpio dentro de un espacio que normalmente consiste en una combinación de presurización y filtración de recirculación.

Para continuar con el particular ejemplo, usaremos la misma sala, en especial una sala MCC, 100' de largo x 30' de ancho x 20' de altura. El volumen es de 60,000 ft³, o 1700 m³. Supongamos una concentración exterior de 2 ppm H₂S.

La conversión de las partes por millón, PPM, a mg/m³ conlleva a multiplicar por un factor de 1.4 por H₂S. Por lo tanto, 2 ppm se convierte en 2.8 mg/m³. La sala tendrá 1700 x 2 x 1.4 = 4.76 gramos de H₂S interior. Si tomamos arbitrariamente un medio de eliminación de una fase gaseosa y le damos el 20% de capacidad de eliminación por peso, esta cantidad de H₂S requerirá 23.8 gramos de medida. La capacidad de eliminación por peso de 20% está "en el rango" de capacidad como fue publicado por varios fabricantes.

Si se usa la presurización, y el 5% del volumen de la sala por minuto se usa para limpiar la sala, se requerirá el sistema de filtración para eliminar: 85 m³/min (3,000 cfm) x 1440 min/día x 2.8 mg/m³ = 342,720 mg/día = 343 gramos de H₂S por día. Al 20% de capacidad por peso, esto consumirá 1715 gramos/día de medios.

Los costos de operación se intensifican con niveles más altos de presurización. Habrá un aumento de calefacción/refrigeración y consume de medios con la filtración de la fase gaseosa. Además de esto, el efecto de la temperatura, y la humedad, es claro que la presurización necesita ser "manejada". Hay un costo significativo asociado con traer aire exterior donde se requiera la fase gaseosa.

Tabla 3 de ISA S71.04-1985 provee una Clasificación Tabla para contaminantes y su nivel de intensidad.

Nivel de intensidad		G1- Suave	G2- Moderado	G3- Duro	GX- Intenso
Nivel de reactividad del cobre en Angstroms		< 300	< 1000	< 2000	≥ 2000
Contaminante	Gas				
Grupo A	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	< 1250	≥ 1250
Grupo B	HF	< 1	< 2	< 10	≥ 10
	NH ₃	< 500	< 10000	< 25000	≥ 25000
	O ₃	< 2	< 25	< 100	≥ 100

- Notas: 1. La reactividad del cobre está medida en Angstroms después de 1 mes de exposición en el espacio.
 2. La concentración de figuras de gas se dan en partes por mil millones.
 3. Los contaminantes del Grupo A regularmente ocurren en la misma situación y los niveles reflejan algunos efectos sinérgicos entre los gases.
 4. Estas figuras "pueden ser un aproximado" que proveen una humedad relativa que es menor al 50%.
 5. Se puede esperar que el nivel de corrosión aumente por cada 10% de aumento en RH sobre el 50%, y también por cada rango de cambio de RH mayor que 6% por hora.

Nota: Tenemos dudas con respecto a esta Tabla. La Norma establece que "Los niveles de concentración de gas mostrados debajo son provistos para propósitos de referencia. Se cree que se aproximan a los Niveles de Reactividad del Cobre mencionados anteriormente, proveyendo la humedad relativa que es menor al 50%". Se debe usar la Tabla como una guía e invocamos a que los espacios sean Clasificados antes de la instalación, y monitoreados después, esa es la verdadera prueba de la condición de la sala. Esta es la única forma de determinar los efectos sinérgicos de los gases, temperatura y humedad. Incluso es difícil medir los bajos niveles sugeridos para G1.

Tampoco estamos de acuerdo con los altos niveles aceptados de amoníaco. Este gas es muy reactivo con el cobre y otros metales, y por tanto los niveles para G1 deben ser mucho más bajos, ciertamente menos de 50 ppb.

Ya que el amoníaco requiere una "reducción" química para su eliminación, en vez de "oxidación", este gas puede necesitar una etapa de medios dedicados.

Hay obvias contradicciones en el S71.01 y normas 04, la más obvia es la conexión de RH a los niveles de intensidad. Nuestra recomendación es seguir las recomendaciones que están en la Sección 4- Aire Acondicionado. La mayoría de salas MCC tienen alta carga sensible, y por eso la humedad no es probable que sea un problema.

La importancia de las Clasificaciones por la Norma es:

G1- Suave, la corrosión no es un factor para determinar la confiabilidad de un equipo.

G2- Moderado- Los efectos de corrosión serán medibles y podrán ser un factor para determinar la confiabilidad de un equipo.

G3- Duro- Un ambiente donde hay una alta probabilidad de que la corrosión ataque ocurrirá.

GX- Severo- Un ambiente que solamente esté especialmente diseñado y tenga un equipo completo podrá sobrevivir.

6.1 Presurización

Todas nuestras recomendaciones están basadas en salas bien selladas en buen estado de reparación. Para que la luz no cause tráfico, así como las salas cerradas MCC, recomendaríamos aproximadamente de 1 a 2% del espacio de volumen por minuto del aire exterior.

Para un alto tráfico, sugerimos de 2 a 3% del volumen por minuto. En el caso de pequeños recintos ocupados, al menos se deben proveer 30 cfm para una ventilación natural por persona.

Lo importante acerca de la presurización es que necesita ser bien filtrada y que los filtros reciban mantenimiento.

Como ejemplo, un filtro de la fase gaseosa con el 99% de la eficacia eliminada de H₂S tendrá una condición de entrega basada en 2 ppm exterior, de 20 ppb. Para la Tabla 3 de ISA S71.04-1985, esta condición de entrega sería considerada G3 o "Duro". Claramente, la sala nunca llegará a Clase G1, "Suave" si el aire que entra está en un nivel G3. (G1 está expresado como requerimiento menos de 3 ppb y G3 está entre 10 y 50 ppb de H₂S).

Esto también propone una pregunta acerca de los sistemas de tipo modulo para la presurización exterior y no recomendamos este alcance en lugares industriales. En la Sección 1.0, se propuso el concepto de tiempo de residencia superficial. Este es el tiempo que toma para que el aire sea filtrado para pasar a través de un volumen de medios dado.

Se calcula de la siguiente manera: $Rt \text{ en segundos} = (\text{medio en ft}^3) \times 60 / (\text{flujo de aire en cfm})$. Una "Regla del Pulgar" general para que sea mayor del 90%, la eficacia de eliminación tiene que tener al menos 0.1 segundos de tiempo de residencia. Habrá variaciones basadas en la temperatura, humedad, presión, concentración etc., pero necesitamos matemática básica.

Es sentido común que una capa de profundidad con un tiempo de residencia de varios segundos que operará mejor que un sistema típico de módulo con un tiempo de residencia menor de 0.3 segundos. Además, un sistema de llenado en grandes cantidades mostrará el costo más bajo por unidad de contaminantes eliminados, no contaminará tanto, porque solo los medios y no los módulos de plástico desechable, estarán en un vertedero por cientos de años.

El uso de los medios será también un factor. Una vez que el bypass funcione, se reemplazarán los medios. Un sistema de llenado en grandes cantidades con tiempo de residencia de 2 segundos será adecuado para "1.9 segundos o tendrá un factor de

uso del 95%. Un sistema de modulo con 0.3 segundos solo tendrá un factor de uso del 67%.

Un factor que necesita ser tomado en cuenta con una filtración de fase gaseosa es un efecto de temperatura en una reacción química. Varios contaminantes son eliminados por una reacción química, una vez que han permanecido sobre una superficie tales como carbón o alúmina. Si hay más vapor de agua que congelamiento, la reacción será mucho más efectiva.

Para nuestro conocimiento, no se han realizado pruebas independientes sobre el rango de reacción, el cambio en el tiempo requerido de residencia de los medios, el efecto de humedad o concentración de penetración a bajas temperaturas. Es razonable asumir que mientras más baja sea la temperatura, más bajo será el rango de reacción. Algunas reacciones son exotérmicas, pero en mejores niveles es poco probable que suficiente calor se genere para mantener la reacción química.

Con los sistemas de filtración de la fase gaseosa, normalmente es factible mezclar el aire de retorno del espacio con el aire exterior para tempera el aire exterior, y posiblemente eliminar la recomendación para agregar calor. Esta mezcla también actúa para pulir la sala con aire de retorno y los niveles más bajos de contaminantes.

Si se introduce el aire frío directamente en una sala ocupada, el personal encontrará un modo de detener el flujo al menos que esté mezclado.

Nuestras recomendaciones para la presurización son:

- i. 1 a 2% del volumen de la sala por minuto para salas cerradas o salas con semáforos.
- ii. 2 a 3% del volumen de la sala por minuto para áreas de tráfico.
- iii. Poner la calefacción en sentido contrario a los filtros consumidos, si el aire ambiental es propenso a disminuir por debajo de los 35- 40 °F. (2- 4 °C)
- iv. Diseñar una vida de capa media que exceda los 12 meses de servicio de vida con capacidad de eliminación completa, y si los niveles de contaminantes conocen una figura de 15 meses, deberían ser el diseño objetivo.
- v. Evaluar si el aire que regresa del espacio es una opción para sacar cualquier contaminante que pueda entrar hacia las puertas, etc.

Así como con las partículas, recomendamos distintos controles de velocidad el en ventilador de presurización.

6.2 Recirculación

Esta área debe ser abordada para actuar como un filtro de pulido para el espacio. El ejemplo que se da bajo 5.0 y 6.0 demuestra claramente que tan baja es la cantidad total de contaminantes en un grupo básico con un espacio contaminado. Lógicamente, filtrar esos contaminantes en lugar de hacer flushing dará como resultado costos de operación más bajos.

Es importante resaltar que el modelo que usamos para analizar un espacio demuestra que la filtración de aire de retorno no tiene que ser extremadamente muy eficiente para tener un orden de magnitud que se diferencien en el nivel de limpieza de la sala. Compare esto con un sistema de presurización exterior, donde la eficacia cae por debajo del 99%- esto podría empeorar la situación en el espacio.

Ciertamente, ejecutar un depurador de fase gaseosa con un medio gastado es un desastre.

Al filtrar el aire que está dentro del espacio, se esperan los siguientes beneficios:

- i. La energía baja a través del aire exterior reducido.
- ii. Se incrementa la estabilidad de la temperatura y de la humedad.
- iii. Se reduce el consumo del medio.
- iv. Se reduce los niveles de contaminantes.

Nuestras recomendaciones para la filtración de recirculación son:

- i. 3-5% del volumen de la sala por minuto para salas cerradas o salas con semáforos.
- ii. 5-10% del volumen de la sala por minuto para áreas de tráfico.
- iii. Diseñar una fase gaseosa de medio de vida que exceda los 12 meses basada en los niveles de contaminación G3 (el rango más bajo).
- iv. La eficacia de la filtración particular debe ser al menos MERV 11, lo ideal MERV 14.
- v. Lo ideal es integrar una unidad de control de clima montada en el interior.

7.0 Ejemplos de modelos

Hemos tomado la sala mencionada en 5.0 y 6.0, y demostraremos el impacto de varios factores. Estamos tomando el ambiente exterior como de "100" unidades de contaminación.

Ubicación ID	Sala Típica
--------------	-------------

Variable	Descripción	Valor
C	Concentración del aire exterior contaminado, unidades	100
Q1	Cantidad de aire consumido en la sala, cfm	1200
η_1	Eficacia del filtro consumido, %	99
QL	Aire de fuga en el filtro consumido, cfm	12.00
QR	Filtros de flujo de aire de recirculación, cfm	3000
η_R	Eficacia del filtro de recirculación, %	600
QW	Cantidad de infiltración de viento en la sala, cfm	12.00

Resultado

Lapicero	Porción de contaminación de afuera hacia adentro	0.01
x	Concentración del aire interior contaminado, unidades	1.20

Tabla de entrada

Volumen del espacio, ft3	60, 000
Aire presurizado, % volumen por minuto	2
Recirculación del aire, % volumen por minuto	5
Entrada de viento, % volumen por minuto	1
Filtro bypass, aire externo por minuto	1

Esta es una instalación típica con 2% de presurizado de aire exterior, 5% de recirculación con un poco de entrada de viento y filtro bypass. La eficacia del filtro consumido es de 99% y la recirculación de 60%. El aire interno tiene 98.8% de contaminantes removidos

Ubicación ID	Sala Típica
--------------	-------------

Variable	Descripción	Valor
C	Concentración del aire exterior contaminado, unidades	100
Q1	Cantidad de aire consumido en la sala, cfm	1200
η_1	Eficacia del filtro consumido, %	99
QL	Aire de fuga en el filtro consumido, cfm	12.00
QR	Filtros de flujo de aire de recirculación, cfm	0
η_R	Eficacia del filtro de recirculación, %	60
QW	Cantidad de infiltración de viento en la sala, cfm	12.00

Resultado

Lapicero	Porción de contaminación de afuera hacia adentro	0.03
x	Concentración del aire interior contaminado, unidades	2.99

Tabla de entrada

Volumen del espacio, ft3	60, 000
Aire presurizado, % volumen por minuto	2
Recirculación del aire, % volumen por minuto	0
Entrada de viento, % volumen por minuto	1
Filtro bypass, aire externo por minuto	1

Esta es la misma sala sin ninguna filtración de recirculación. El nivel sigue siendo bueno al 97% de los contaminantes que han sido removidos.

Ubicación ID	Sala Típica
--------------	-------------

Variable	Descripción	Valor
C	Concentración del aire exterior contaminado, unidades	100
Q1	Cantidad de aire consumido en la sala, cfm	600
η_1	Eficacia del filtro consumido, %	90
QL	Aire de fuga en el filtro consumido, cfm	6.00
QR	Filtros de flujo de aire de recirculación, cfm	0
η_R	Eficacia del filtro de recirculación, %	60
QW	Cantidad de infiltración de viento en la sala, cfm	6.00

Resultado

Lapicero	Porción de contaminación de afuera hacia adentro	0.12
x	Concentración del aire interior contaminado, unidades	11.90

Tabla de entrada

Volumen del espacio, ft ³	60000
Aire presurizado, % volumen por minuto	1
Recirculación del aire, % volumen por minuto	0
Entrada de viento, % volumen por minuto	1
Filtro bypass, aire externo por minuto	1

Este ejemplo muestra lo que pasa cuando la eficacia de la filtración exterior desciende al 90%. En nivel interior asciende de forma radical.

Ubicación ID	Sala Típica
--------------	-------------

Variable	Descripción	Valor
C	Concentración del aire exterior contaminado, unidades	100
Q1	Cantidad de aire consumido en la sala, cfm	600
η_1	Eficacia del filtro consumido, %	90
QL	Aire de fuga en el filtro consumido, cfm	6.00
QR	Filtros de flujo de aire de recirculación, cfm	3000
η_R	Eficacia del filtro de recirculación, %	60
QW	Cantidad de infiltración de viento en la sala, cfm	6.00

Resultado

Lapicero	Porción de contaminación de afuera hacia adentro	0.03
x	Concentración del aire interior contaminado, unidades	2.98

Tabla de entrada

Volumen del espacio, ft3	60000
Aire presurizado, % volumen por minuto	1
Recirculación del aire, % volumen por minuto	5
Entrada de viento, % volumen por minuto	1
Filtro bypass, aire externo por minuto	1

Esta es la misma sala con filtración que re circula. Esto cubre varios problemas únicamente en el servicio de sistemas de presurización. El nivel desciende al 3% del nivel de contaminación exterior.

Es obvio que existen varios escenarios para ver, pero recomendamos que los elementos claves sean:

1. Presurización con aire muy limpio (y aire caliente cuando sea necesario) de un sistema al que se le hace mantenimiento.
2. Filtración de recirculación para limpiar cualquier derrame, fuga o entrada que normalmente serían removidas solo al jalar la cadena.
3. El aire acondicionado y el climatizador están ubicados dentro del espacio.
4. Siga las recomendaciones de acuerdo al foco contaminante, ya sea en la fase de partícula o de gas.