

## **Artículos de revista “Frío y Calor” N° 91.**

Para ver los artículos completos y con las imágenes correspondientes, ver en [www.frioycalor.cl](http://www.frioycalor.cl)

# **¿CÓMO PUEDEN CONTRIBUIR LOS FILTROS DE AIRE A UNA MEJOR CALIDAD DEL AIRE INTERIOR?**

*Preparado por J. Gustavsson, Director Técnico, Camfil AB, Suecia*

La necesidad de eliminar contaminaciones del aire o de otros gases ha aumentado con respecto al grado de separación y a la necesidad de separar partículas más finas.

La especificación correcta de los filtros es un requisito previo para el funcionamiento correcto de los sistemas de ventilación de forma y manera que pueden ayudar a salvaguardar los procesos de producción sensibles, a proteger a los seres humanos y al medio ambiente, así como mejorar la calidad del aire interior (IAQ). Un filtro es un elemento clave de un sistema de ventilación que, conjuntamente con otras partes del sistema, puede contribuir hacia un mejor ambiente interior.

### **1. El IAQ en el centro de la atención**

El IAQ está de momento en el centro de la atención. En EE.UU., ASHRAE ha desarrollado estrategias para una salud ambiental mejorada y ha definido diferentes áreas para abordar [1]. VDI en Alemania ha preparado un estándar higiénico para la planificación, el diseño, la operación y el mantenimiento de sistemas de aire acondicionado [2]. En los países nórdicos, desde 1999 están dedicados a la IAQ, y eso implica varias actividades y presentaciones de programas de investigación y resultados en el tema. Eurovent, asociación para fabricantes de sistemas HVAC en Europa, está introduciendo varios documentos sobre IAQ [3,4,5].

### **2. Protección del sistema de ventilación**

Según estudios actuales sobre IAQ, muchos problemas están causados aún por sistemas de ventilación que están mal diseñados o funcionando mal. Muchos de estos problemas se pueden solucionar fácilmente. En EE.UU. existen dos grandes informes, NIOSH 1994 y Minnesota 1997, resumiendo los problemas sobre la IAQ de varios estudios [6]. En la mayoría de los casos, una combinación de factores ha causado problemas de IAQ. La Tabla I muestra el porcentaje de problemas importantes detrás del síndrome de IAQ en cada caso.

Del 30% al 50% de los problemas principales se debieron a la ventilación. La temperatura desempeña probablemente un papel importante en este caso. Con respecto a microorganismos, los dos informes se diferenciaron considerablemente. En el estudio de Minnesota, más del 50% de las instalaciones experimentaron problemas con microorganismos. En el 29% de las instalaciones, los microorganismos eran el problema principal de IAQ y en el 94% de los casos estos problemas se encontraron en el sistema de ventilación. El estudio NIOSH indicó solamente un 5% de problemas relacionados con microorganismos en el sistema.

¿Qué pueden hacer los filtros de aire? Un filtro es un componente en un sistema de ventilación y no puede contribuir a una mejor IAQ por sí mismo. Sin embargo, los filtros son normalmente indispensables para el funcionamiento correcto del sistema, y si los filtros de aire están instalados y cambiados apropiadamente, pueden contribuir a una mejor IAQ por medio de:

- Manteniendo limpio al sistema, que significa que se preserva el caudal de aire de diseño y se mantiene la temperatura y la humedad dentro de la especificación. Un sistema limpio operando con el flujo de aire de diseño reduce la cantidad de contaminantes interiores generada por seres humanos, materiales de construcción y equipos.

- Manteniendo la eficiencia del equipo, permitiendo el funcionamiento correcto del ventilador y de los equipos de calefacción y refrigeración.

- Previene el acceso de microorganismos al sistema.

- Eliminando contaminantes exteriores. Todos los contaminantes exteriores pueden ser eliminados fácilmente antes de que accedan al sistema.

Para mantener el funcionamiento durante varios años, el sistema de ventilación debe ser protegido efectivamente tanto en el lado de la entrada como en el lado de la descarga. Las contaminaciones deben ser detenidas en la entrada y no se tiene que permitir su acceso al sistema. Un filtro F7 es el filtro más apropiado desde el punto de vista de gastos de explotación, limpieza y mantenimiento de la instalación.

### **3. Requisitos de higiene**

Cada día respiramos cerca de 20-30 kg de aire y consumimos alrededor de 1 kg de alimentos sólidos y 3 kg de alimentos líquidos. Deberíamos por lo tanto esperar que nuestro aire tenga los mismos estándares de calidad que nuestros alimentos y bebidas. Pasamos un 90% de nuestro tiempo en un interior y la visión debería ser que nadie se enferme debido al ambiente del aire interior.

Exigimos mucho de lo que comemos y bebemos, ¿pero cuáles son los requisitos para el aire?  
¿Qué deberíamos aceptar? ¿Qué podríamos aceptar?.

#### **3.1. Aire atmosférico y polvo**

El aire se compone de una mezcla de gases y materiales generados por procesos naturales y actividades humanas.

#### **Tamaño de las partículas**

El tamaño de las partículas se indica a menudo en  $\mu\text{m}$  (micras).  $1\mu\text{m}=10^{-6}$  m. Las partículas en la atmósfera varían entre tamaños de menos de  $0,01\mu\text{m}$  hasta objetos del tamaño de hojas e insectos.

Los estudios de partículas atmosféricas muestran que su distribución es a menudo bimodal, es decir, las partículas se componen de dos fracciones separadas, una fina y una gruesa. Las partículas gruesas, alrededor de  $2,5\mu\text{m}$  y superior, están compuestas de polvos naturales por efecto del viento, de la erosión, de plantas, de volcanes, etc. La fracción más fina, compuesta de las partículas inferiores a  $2,5\mu\text{m}$ , consta sobre todo de partículas de la actividad humana en forma de productos de combustión, de emisiones de vehículos y de otros procesos.

Los requisitos de higiene sobre la concentración de partículas en el aire se han basado en concentraciones de partículas inferiores a  $10\mu\text{m}$  (masa de partícula, PM10). Estudios han mostrado una conexión directa entre el índice de mortalidad y las partículas más finas. Los requerimientos oficiales están bajo revisión tanto en Europa como en EE.UU. y tendrán que basarse en la concentración de partículas inferiores a  $2,5\mu\text{m}$  (PM 2,5). Del mismo modo se ha mostrado recientemente que las partículas más pequeñas desempeñan un papel importante en cuanto afectan a nuestro sistema respiratorio.

Son necesarios filtros más finos para eliminar con eficiencia estas partículas pequeñas y cumplir los requerimientos oficiales, y la demanda para filtrar aire exterior, aire reciclado o aire de escape está aumentando. Con un filtro F7 se alcanza una buena separación de partículas pequeñas.

### **Cantidad de partículas**

La cantidad de partículas varía considerablemente con el tiempo y el lugar. En la Tabla II se puede ver que la concentración de partículas en el aire es de 109 partículas por m<sup>3</sup> en el campo. En la ciudad, la concentración es por lo menos 100 veces más alta, y para reducir la cantidad de partículas en un ambiente urbano al mismo nivel que está presente en el campo, se requiere un filtro con una separación de 99%. Así, un ambiente urbano o contaminado requiere un filtro de una calidad cada vez más alta.

### **3.2. Potencial Carcinogénico de contaminantes**

El tamaño y la cantidad de las partículas no dicen nada sobre el peligro de las partículas o sobre la calidad de filtro requerida. Sabemos que se han llevado a cabo una gran cantidad de estudios, y que hay una relación entre la carcinogenicidad, los alergénicos y la contaminación del tráfico.

Para determinar si los filtros podrían reducir el efecto carcinógeno de los contaminantes transportados por el aire, se realizó un estudio en cooperación con la Universidad de Estocolmo. Diversos filtros fueron probados conforme a la prueba AMES, una prueba a corto plazo de la mutagenicidad para evaluar riesgos carcinógenos.

En la prueba AMES, unas bacterias (*salmonella typhimurium*) se exponen a la contaminación atmosférica. Normalmente, estas bacterias especialmente preparadas no pueden crecer suficientemente para formar colonias visibles. Sin embargo, si la contaminación afecta al ADN de las bacterias, empiezan a crecer y formarse colonias (las bacterias revierten). Muchas sustancias en la contaminación atmosférica no son carcinógenas sino se transformarán en sustancias mutágenas activas cuando están expuestas a ciertas enzimas en el hígado. Las bacterias en la prueba AMES se exponen por lo tanto, directamente a la contaminación atmosférica e indirectamente por medio de las enzimas del hígado.

La prueba AMES indica la mutagenicidad de la contaminación expresada en colonias de bacterias o bacterias revertidas. La prueba muestra si la contaminación está atacando al ADN de las bacterias. Además, se ha establecido que un compuesto mutágeno que actúa en el ADN de un organismo (bacteria) probablemente actuará de la misma manera en otro organismo (humano). Los estudios han mostrado una correlación entre la mutagenicidad y la carcinogenicidad. Compuestos que no se demuestran mutágenos se supondrían no-carcinógenos, y estos probados como mutágenos se someterían a pruebas adicionales.

Se tomaron muestras de aire a la salida de diversos filtros en el centro de Estocolmo, y éstas fueron analizadas conforme a la prueba AMES. Los resultados incluyeron dos estudios separados. En cada caso las pruebas se realizaron con y sin enzimas de hígado.

En la figura 3 se traza la mutagenicidad contra una eficiencia de 0,4 µm para diversas calidades de filtro. Para reducir la mutagenicidad en un 80% (desde 100% a 20%), la eficiencia del filtro para partículas de 0,4 µm tiene que ser por lo menos 80%. Con buenos filtros, el riesgo carcinógeno de la contaminación del tráfico puede ser reducido.

### **3.3. Alergénicos**

El término alergia significa una reacción anormal del cuerpo a un alergénico previamente encontrado que está introducido por inhalación, ingestión o contacto de la piel. Una reacción alérgica se manifiesta a menudo por picor de ojos, goteo de la nariz, resuello, erupción cutánea, etc.

Los problemas de alergia y de asma han aumentado en los países occidentales. El asma, por ejemplo, ha aumentado dramáticamente durante los últimos 10 años y afecta actualmente a casi 15 millones de americanos. Un 35% de todos los niños en Suecia sufren de alguna clase de alergia.

La tendencia a desarrollar alergias y asma se hereda probablemente, pero la exposición a varios contaminantes puede provocar la reacción. Además de reacciones alérgicas a alimentos, las alergias se pueden relacionar en muchos casos con problemas transportados por el aire, como:

- Alergénicos provenientes de animales, gatos, perros, etc.
- Polen, esporas, bacterias.
- Ácaros.
- Polvo grueso
- Humos de gasóleo, aire de escape, humo de cigarrillo y partículas pequeñas de combustión y procesos.

La mayoría de los alérgicos se relacionan con proteínas en los compuestos (animales, polen, ácaros, etc.) Todas las proteínas son diferentes pero son casi iguales de tamaño y reaccionan con el mismo tipo de mecanismos. Hay teorías sobre que una contaminación del polen podría aumentar la reacción alérgica. Los alérgicos están normalmente conectados a partículas más grandes y se podrían recoger en filtros de aire.

Hay muy pocos métodos para detectar y cuantificar alérgicos. Cada proteína tiene sus propias características. La gente que es propensa a alergias y trabaja con ratas es muy alérgica a la proteína de la orina de rata (RUP). En este caso, se ha desarrollado una técnica ELISA para rastrear RUP y para medir las concentraciones.

En cooperación con la Universidad de Estocolmo, las pruebas alérgicas de RUP fueron realizadas con diversas calidades de filtro. El aire fue descargado desde una sala con ratas. Entonces, el aire fue filtrado pasando por secciones del material filtrante cortadas de diversos filtros. Todos los materiales fueron probados en paralelo y la velocidad fue controlada individualmente. Como referencia, una muestra estaba sin material filtrante. La concentración de RUP era cerca de 100 ng/m<sup>3</sup> antes de que las muestras fueran tomadas.

La figura 5 muestra la concentración porcentual a la salida de las diversas calidades de filtro. El material de un filtro estándar F6 redujo la concentración en un 90%, mientras que los filtros F7 y filtros mejores redujeron la concentración debajo del límite de detección (0,01%).

La prueba también incluyó los filtros F7 basados en un material cargado electrostáticamente. Las muestras fueron tomadas de filtros usados. En este caso, el material sintético redujo la concentración a 8 y 3 ng/m<sup>3</sup>. El material estaba fabricado de gruesas fibras cargadas electrostáticamente, que pierden su eficiencia en la vida real.

Un filtro convencional F7 es eficiente en esta aplicación, mientras que un filtro F7 basado en una carga electrostática no es aceptable, debido a la pérdida de eficacia al recoger el polvo.

## **4. Función de los filtros**

### **4.1. Eficiencia mínima**

Es importante estar enterado de las características del funcionamiento de un filtro en diversos ambientes. La figura 6 muestra, en el caso de filtros nuevos, cómo varía la separación según el tamaño de partícula y la clase del filtro. La clase del filtro se basa en la eficiencia media y un filtro nuevo tiene normalmente una eficiencia inicial mucho más baja. En el caso de filtros cargados electrostáticamente, la separación puede ser significativamente más alta para filtros nuevos, para luego ir bajando cuando el filtro recoge polvo. La figura debería considerarse como indicación de la separación mínima durante la operación real. Eurovent 4/10 se podía utilizar para verificar la eficiencia de filtros en una instalación [7].

## **4.2. Carga de polvo**

A medida que un filtro acumula polvo, la caída de presión aumenta y el polvo recogido mejora la eficiencia normal de la separación. Otro efecto se puede observar con el material de un filtro de material sintético, cargado electrostáticamente. Durante la operación, los contaminantes neutralizan el material y la capacidad de separación del filtro se reduce. La figura 7 muestra ejemplos de filtros para que las pruebas de laboratorio hayan indicado que están conforme a la clase F7 [8]. La eficiencia baja dramáticamente desde más de un 80% a menos del 20% después de la operación durante algunas semanas en el caso del filtro basado en un efecto electrostático. Los resultados han sido confirmados por otros laboratorios [9] y se ha diseñado un método de prueba para probar este efecto [10].

## **4.3. Caída media de presión**

La caída media de presión durante la operación, que depende de las características del ventilador y de la instalación, se calcula muchas veces como el valor medio entre la caída inicial de presión y la caída final de presión del filtro. Debido a los requerimientos para un mayor rendimiento energético, cada vez se están diseñando más sistemas para un flujo constante, y la caída media de presión es el valor integrado. Así se pueden realizar ahorros significativos usando filtros con una caída baja de presión inicial y un aumento leve en la pérdida de carga durante el período de operación.

## **4.4. Consumo de energía**

Durante el período de un año (8.760 horas), un filtro de 1 m<sup>3</sup>/s con una caída media de presión de 100 Pa requiere 1.250 kWh de energía si la eficiencia del ventilador se fija en 70%. El coste energético es generalmente mayor que el coste del filtro y una reducción en la caída de presión llega a ser cada vez más significativa para la disminución del consumo de energía. En el ejemplo antes indicado, una reducción de 10 PA en la caída de presión ahorrará 125 kWh de energía.

## **4.5. Vida útil/reemplazo del filtro**

La vida útil de un filtro depende de la concentración y del tipo de polvo, del caudal de aire y de la pérdida final de carga seleccionada. El material y la construcción del filtro son a menudo un compromiso, o una combinación de efectos filtrantes y del espacio disponible en la instalación. Una baja velocidad o una superficie grande del filtro fomentan la eficiencia, una baja caída de presión, pero sobre todo una vida útil más larga.

Los cambios del flujo de aire en la planta han sido los criterios principales para los cambios de filtros, es decir cuando la caída de presión aumenta hasta un punto que el ventilador no puede mantener un flujo de aire mínimo. La reducción de niveles efectivos, el consumo de energía o la evaluación económica, es decir cuando el coste energético y el coste del filtro alcanzan un mínimo, están llegando a tener cada vez mayor significancia.

Consideraciones de higiene se están aplicando cada vez más en el reemplazo de filtros. Los estudios [10,11] han mostrado que cuando la humedad relativa media supera las 80% durante tres días, hay un riesgo de crecimiento microbiano en el filtro y en el sistema de ventilación. Como es difícil en muchos casos evitar una alta humedad relativa en la toma de aire, la filtración debería realizarse en dos pasos. El primer filtro se puede exponer frecuentemente a una alta humedad o a la lluvia o la nieve. Los contaminantes orgánicos también se capturan en los filtros y se podrían liberar más adelante. Partículas y endotoxinas de microorganismos pueden desprenderse en filtros de baja calidad.

El primer paso de la filtración se debería realizar por lo tanto usando un filtro por lo menos de la calidad F7, que se debería cambiar después de un período máximo de operación continua de un año o antes, si se

alcanza la caída de presión final. El segundo paso de filtración, usando un filtro por lo menos de la calidad F7, no se expone a alta humedad relativa y detiene con eficiencia microorganismos y partículas. Este filtro puede permanecer en su lugar por cerca de dos años, mientras la caída final de presión no se alcanza dentro de este período.

#### **4.6. Medio ambiente. Análisis del ciclo vital (LCA)**

Las cuestiones medioambientales globales han aumentado significadamente durante los últimos años. Un análisis del ciclo vital (LCA, Life Cycle Assessment) analiza las consecuencias del filtro para el medio ambiente referente a efectos ecológicos y de salud y al consumo de recursos.

Los análisis del tipo LCA de filtros muestran que el funcionamiento a menudo corresponde a un 70-80% de la carga medioambiental total del filtro y es absolutamente decisivo con respecto al impacto del filtro para el medio ambiente. La materia prima, el refinado, la fabricación y el transporte corresponden a aproximadamente en un 20-30%, mientras que el filtro usado contribuye como máximo en un 1%. Los filtros de plástico u otro material inflamable pueden rendir 10-30 kWh de energía cuando se queman, que correspondientemente reduce la carga medioambiental total entre 0,5 a 1%. Por otra parte, si la caída de presión en el filtro se reduce en 10 PA, la carga ambiental se reduce en 125 kWh por año disminuyendo la carga medioambiental total aproximadamente un 5%.

#### **4.7. Coste del ciclo vital (LCC)**

Los análisis LCA no tienen en cuenta aspectos económicos. Un análisis LCA se debería por lo tanto considerar junto con un análisis del coste del ciclo vital (LCC, Life Cycle Cost) [5], que tiene en cuenta la inversión, la energía y los costes de mantenimiento del filtro, así como el coste la eliminación del residuo final, durante el curso vital del equipo de ventilación. Los costes futuros para la sustitución de los filtros y para la energía se calculan conforme al método del valor actual. El resultado final para un filtro de 1 m<sup>3</sup>/s con una caída media de presión de 200 PA se muestra en la Tabla III. El cálculo es por un período de diez años.

En la Tabla III se muestra que los costes energéticos cubren un 80% del coste total durante el período de operación de la planta. Los costes reales del filtro, la inversión y el mantenimiento constituyen alrededor de un 20% del coste total, mientras que el coste de la eliminación del residuo final equivale solamente al 0,5%. El funcionamiento y una baja caída de presión son absolutamente decisivos para el coste de la función del filtro.

### **5. ASHRAE se encarga de problemas de salud medioambiental afectados por la IAQ**

El comité de higiene ambiental de la Sociedad Americana de Ingenieros de Calor, Frío y Aire Acondicionado ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) ha desarrollado un plan para una higiene medioambiental mejorada. Las nueve estrategias principales reconocidas son:

#### **1. La incidencia creciente del asma y de las alergias**

El asma ha aumentado dramáticamente durante los últimos diez años y afecta actualmente a casi 15 millones de americanos. El asma es la causa principal del absentismo escolar. La tendencia a la alergia y al asma se hereda probablemente, pero la exposición a varios contaminantes puede provocar la reacción. Se dice que ASHRAE debería tomar un papel activo en identificar estrategias para el control o la eliminación de fuentes que causan asma y alergias.

#### **2. Contaminantes microbianos**

Los contaminantes microbianos se han identificado como un riesgo de higiene en el aire interior. Muchos problemas microbianos en el interior se relacionan con problemas de humedad en el interior y podrían ser

controlados diseñando mejores sistemas de ventilación. ASHRAE debería tomar un papel activo en el desarrollo de estrategias para el control de la humedad y de los problemas microbianos.

### **3. Peligros para la higiene frente a hongos – micotoxinas**

La aparición de problemas de la calidad del aire interior ha despertado una preocupación creciente por los hongos –especialmente el *stachybotrys chartarum*- y por las micotoxinas que pueden producir. ASHRAE debería concientizar a sus miembros sobre este problema e informar sobre resultados de investigación que pueden clarificar si éste representa actualmente un peligro verdaderamente único para la higiene.

En estos tres casos un buen filtro puede hacer un trabajo excelente para evitar que los alérgicos entren en un sistema de ventilación, y para mantenerlo limpio y para evitar el crecimiento microbiano en el sistema. Los filtros podían conservar el sistema de ventilación en buen estado y mantener el flujo de aire, la temperatura y la humedad relativa en los márgenes diseñados. Para evitar el crecimiento microbiano, la humedad relativa debería quedar debajo de 80% y los filtros se deben cambiar regularmente.

### **4. Impacto de la operación y del mantenimiento sobre la IAQ**

Las operaciones de construcción y de mantenimiento se han reconocido como críticas para alcanzar una buena calidad del aire interior. ASHRAE debería continuar sus actividades para llevar a cabo mejoras en áreas tales como puesta en servicio, entrenamiento, manuales de operación y mantenimiento, mantenimiento preventivo y diagnóstico del sistema.

En este caso un buen filtro es imprescindible. El filtro puede evitar que los contaminantes entren en el sistema, mantener el sistema de ventilación en buen estado y mantener el flujo de aire, la temperatura y la humedad relativa en los márgenes diseñados y mantener la eficiencia del equipo en un alto nivel. Tanto el sistema de entrada como el sistema de salida o descarga se deberían considerar.

### **5. Cambio del clima global**

La contribución de los edificios al cambio del clima global se estima aproximadamente en un 40% de la carga medioambiental total de origen antropogénico (“gases invernadero”). Bióxido de carbono se genera también durante la producción de la electricidad y cuando se consume energía en la fabricación de los componentes de construcción. ASHRAE debería apoyar esfuerzos para entender los impactos de edificios al cambio del clima global y para reducir estos impactos donde sea realizable.

Un análisis del ciclo vital para los filtros de aire es una buena herramienta y analiza sus consecuencias para el medio ambiente referente a efectos ecológicos, efectos higiénicos y al consumo de recursos. La mejor contribución de un filtro de aire para reducir el cambio del clima global es la utilización de filtros con una baja pérdida de presión, un bajo aumento de la pérdida de presión y una baja pérdida de presión final. No obstante, desde un punto de vista higiénico se debería todavía utilizar un filtro de alta eficiencia.

### **6. Ventilación para controlar estímulos sensoriales**

Se establecen, a menudo, estándares para las velocidades de ventilación para el control de estímulos sensoriales (olores, irritación del ojo). Se ha reconocido recientemente que las contribuciones de los materiales de construcción, del mobiliario y de las máquinas son también importantes. ASHRAE debería emprender estudios para comprender mejor el efecto de combinaciones de estímulos y la adaptabilidad de detectores para determinar velocidades de ventilación.

Un buen filtro es imprescindible para el mantenimiento del rendimiento de ventilación especificado. El filtro puede evitar que los contaminantes entren en el sistema, mantener el sistema de la ventilación en buen estado y mantener el flujo de aire, la temperatura y la humedad relativa en los márgenes diseñados y mantener la eficiencia del equipo en un alto nivel. Tanto el sistema de entrada como el sistema de descarga se deberían considerar.

## **7. Generadores de ozono**

Actualmente, los generadores de ozono se están promoviendo extensamente como una forma de reducir las concentraciones de los contaminantes en el interior y de eliminar los mohos. Estos dispositivos no tienen ninguna ventaja verificada y no hay evidencia de que pueden actuar como biocida. De hecho, el ozono puede reaccionar con los productos químicos transportados por el aire y producir sustancias aún más irritantes o peligrosas. Además, un generador del ozono que funcione incorrectamente puede contribuir incluso a aumentar los niveles de ozono por encima de los que se esperan. ASHRAE debería concienciar a sus miembros sobre este problema y tiene que evitar contribuir de cualquier manera a estas ideas falsas.

Hay muchas alternativas de filtros de aire que no utilizan el ozono para la limpieza del aire, ni equipos que producen ozono como efecto secundario (precipitadores electrostáticos).

## **8. Patógenos en el aire interior**

La exposición a patógenos antropogénicos transportados por el aire (virus y bacterias) se reconocen como una causa importante de enfermedades, especialmente para los inquilinos en ambientes de interior de alta densidad. La ventilación de espacios en el interior con aire exterior y con aire recirculado filtrado son técnicas de control establecidas.

ASHRAE debería reconocer los riesgos higiénicos implicados con estos contaminantes e identificar estrategias de control para reducirlas al mínimo. Una atención especial se debería dar al papel de la ventilación en el control de la exposición a los patógenos antropogénicos transportados por el aire.

El filtro desempeña un papel importante en un sistema de ventilación para impedir la distribución de patógenos antropogénicos transportados en el aire en aire recirculado, para mantener el sistema de la ventilación en buen estado y mantener el flujo de aire, la temperatura y la humedad relativa en los márgenes de diseño y para mantener en un alto nivel la eficiencia del equipo.

## **9. Impacto de parámetros térmicos sobre la calidad del aire interior percibida**

Estudios recientes han mostrado que la temperatura y la humedad tienen un impacto fuerte sobre la calidad del aire interior percibida. ASHRAE debería emprender estudios para entender mejor la correlación entre la calidad del aire interior percibida y los parámetros térmicos.

El filtro desempeña un papel importante en el sistema de ventilación para mantener el sistema de ventilación en buen estado y mantener el flujo de aire, la temperatura y la humedad relativa en los márgenes de diseño y para mantener la eficiencia del equipo en un alto nivel. Tanto el sistema de entrada como el sistema de escape se deberían considerar.

## **Conclusiones**

Está claro que filtros de aire juegan/jugarán un papel importante para obtener una mejor IAQ. Un filtro puede realizar un excelente trabajo para evitar que los contaminantes entren en el sistema, mantener el sistema de la ventilación en buen estado, el flujo de aire, la temperatura y la humedad relativa en los márgenes de diseño y la eficiencia del equipo en un alto nivel. Tanto el sistema de entrada como el sistema de escape se deberían considerar.

Lo que sigue se debe tener en cuenta cuando se planean las instalaciones de filtros:

- Se requiere un gran cuidado respecto a la colocación y el diseño de la toma de aire para evitar la aspiración de contaminantes locales, lluvia o nieve.
- El riesgo de crecimiento microbiano es bajo, pero para reducir el riesgo al mínimo, la planta debería ser diseñada de modo que la humedad relativa sea siempre inferior al 90%, y que la humedad relativa media durante tres días sea inferior al 80% en todas las partes del sistema.
- Por razones higiénicas, el aire de entrada se debería filtrar en dos etapas [11]. El primer filtro en la toma de aire tiene que ser por lo menos de calidad F5 pero preferible es un F7. La segunda etapa de filtración se debería efectuar con un filtro por lo menos de la calidad F7 pero preferible es la calidad F9. Si hay solamente una etapa de filtración, el requerimiento mínimo es la calidad F7.
- En el caso de aire reciclado, se tiene que utilizar filtros por lo menos de la calidad F5 para evitar la contaminación de componentes en el sistema, pero el requerimiento mínimo es F7, si se tiene que mejorar el ambiente en la sala.
- El sistema de aire de descarga se debería proteger contra la contaminación con un filtro por lo menos de la calidad F5.
- Una gran cantidad de olores es transportada por partículas, pero para una separación eficiente, se requieren muy a menudo filtros químicos, algo que se puede justificar en un ambiente urbano.
- Los filtros no se deberían instalar directamente detrás de la salida del ventilador, o enfrente de lugares donde hay grandes cambios de área o de sentido del flujo.
- La caída de presión final se calcula y se elige con respecto a las variaciones permitidas en el flujo de aire, a los costes de ciclo vital del filtro y al análisis del ciclo vital.
- Debido al polvo grueso artificial usado en pruebas de laboratorio, el funcionamiento de un filtro en condiciones de operaciones reales se diferenciará con respecto a la capacidad de retención de polvo y otros resultados de pruebas de ensayos en el laboratorio.
- La eficiencia no debería empeorar o bajar por debajo de los valores mínimos especificados.
- La estanquidad y la condición del filtro se deben controlar regularmente por medio de exámenes visuales de la planta. Ningún escape visible o huellas de escape deberían estar aceptados.
- Los filtros y los cajones de montaje de los filtros se deberían marcar claramente con el tipo y la designación del filtro.
- En el caso de requerimientos más rigurosos, se deben realizar revisiones in situ del filtro conforme a Eurovent 4/10.
- Los filtros deben ser sustituidos cuando la caída de presión alcanza la caída de presión final especificada, o cuando se alcanza el intervalo siguiente de higiene, si ocurre éste antes:
  - El filtro en el primer paso de filtración se debería substituir después de un período máximo de funcionamiento de 8.700 horas.

- El filtro en el segundo paso de filtración así como los filtros en sistemas de aire de escape o de aire reciclado se deberían cambiar después de un máximo de dos años de operación continua.

- Reemplazo del filtro. Por razones higiénicas, el filtro se debería substituir después de la temporada de polen y espora en otoño. Si los requerimientos son rigurosos, los filtros se pueden cambiar también en la primavera después de la temporada de calefacción para eliminar productos de combustión olorosos.

- Los filtros se deberían substituir cuidadosamente, usando un equipo protector, para evitar el escape de contaminantes retenidos.

- Eliminación/residuos. Es una buena idea quemar los filtros en hornos bien filtrados para quemar contaminantes retenidos, reducir los residuos y recuperar energía. Los filtros de sistemas normales de la ventilación se podrían también depositar en un vertedero.

## **7. Bibliografía**

[1] ASHRAE Tackles Environmental Health Issues Affected by IAQ. ASHRAE Insights, septiembre (1998).

[2] Hygienic aspects for the planning, design, operation and maintenance of air-conditioned systems, VDI 6022: julio (1998).

[3] Recommendation concerning Indoor Air Quality. Eurovent/Cecomaf, enero (1999).

[4] Air Filters for Better IAQ. Eurovent/Cecomaf, enero (1999).

[5] Recommendation concerning Calculating of Life Cycle Cost for Air Filters. Eurovent/Cecomaf, enero (1999).

[6] Ellringer P.J, Whitcomb L. 263 Indoor Air Quality Studies in the State of Minnesota. Advancing Filtration Solutions (1997).

[7] In Situ Fractional Efficiency Determination of General Ventilation Filters, EUROVENT 4 octubre (1996).

[8] SINTEF. Lifetime Tests of Air Filters in Real Applications. Sintef, STF A95027, marzo 1995.

[9] Lehtimäki, M. Performance of Ventilation Filters. Pilot Field Tests, Material Test and Full-Scale Field Test. Tampere, 18 de diciembre (1997).

[10] Nordtest Method NT VVS 117. Electret Filters: Determination of the Electrostatic Enhancement Factor of Filter Media, diciembre (1997).

[11] Möritz, M. Verhalten von Mikroorganismen auf Luftfiltern. Universidad Berlín (1996).

[12] Möritz, M. Hygienische Untersuchungen zur Begrenzung der Standzeit von Luftfiltern in RTL-Anlagen. Universidad Berlín (1999).

# FILTRACIÓN DE AIRE

*Preparado por Hugo Navarro Valderrama, Gerente General, Diaterm Ltda.*

La filtración es una técnica, proceso tecnológico u operación unitaria de separación, por la cual se hace pasar una mezcla de sólidos y fluidos (gas o líquido), a través de un medio poroso o medio filtrante que puede formar parte de un dispositivo denominado filtro, donde se retiene de la mayor parte del o de los componentes sólidos de la mezcla.

Las razones para filtrar sólidos (también denominado polvo) de aire son porque el polvo es un contaminante que puede convertir el aire en inseguro para la salud o no apropiado para su uso; a su vez las partículas de polvo en suspensión pueden eventualmente decantar y crear molestias y/o focos de suciedad; o los sólidos pueden ser un producto valioso y en un proceso de manufactura pueden haber sido mezclados con el aire.

El medio filtrante es el elemento fundamental para la práctica de la filtración y su elección es habitualmente la consideración más importante para garantizar el funcionamiento del proceso.

En general, entre los principales criterios de selección del material de medio filtrante se pueden destacar: compatibilidad y resistencia química con la mezcla, permeabilidad al aire y resistencia a las presiones de filtración, capacidad en la retención de sólidos, adaptación al equipo de filtración y mantenimiento, relación entre vida útil y costo.

## **Mecanismos de filtración de aire**

El método más simple de filtración consiste en pasar una mezcla de sólido y fluido a través de una interfaz porosa de manera que el sólido quede atrapado, mientras que el fluido pase. Por lo tanto, los mecanismos se basan principalmente en los diferentes tamaños de partículas.

Existen cuatro mecanismos que permiten filtrar las partículas a través de una media de filtración de aire. Estos son la inercia, la intercepción, la difusión y el tamizado. A cada mecanismo le corresponde la filtración de un determinado tamaño de partículas.

**Difusión:** La difusión es el mecanismo de filtración de aire más difícil de imaginar o de explicar. Partículas muy pequeñas se fijan sobre las fibras si entran en contacto con ellas por efecto de la difusión. Las partículas encuentran las moléculas de aire y son “empujadas” en todas las direcciones, es el movimiento browniano. A causa de este movimiento browniano, algunas pequeñas partículas no siguen precisamente la corriente de aire, pero tienen un movimiento vibratorio y se mueven de forma irregular. Este movimiento irregular aumenta la probabilidad de que las partículas entren en contacto con las fibras de los filtros.

Este mecanismo da origen a la adsorción, que es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapadas o retenidas en la superficie de un material, en contraposición a la absorción, que es un fenómeno de volumen. En otras palabras, es un proceso mediante el cual un sólido poroso (a nivel microscópico) es capaz de retener partículas de gas en su superficie tras entrar en contacto con éste.

Una media de filtración molecular con una superficie muy grande, como el carbón activo, puede filtrar moléculas del aire mediante el proceso de adsorción. Para que la adsorción funcione, el aire contaminado debe estar en contacto con la superficie de la media. El mecanismo que permite este contacto es la difusión. La figura muestra cómo se produce la difusión en un grano de carbón.

**Inercia:** Las partículas gruesas se filtran por efecto de la inercia. Tienen una masa más elevada y, por lo tanto, son más difíciles de desviar que las pequeñas partículas debido a la inercia. A causa de este efecto de inercia, las partículas siguen desplazándose más o menos en línea recta, incluso cuando el flujo de aire

está obligado a rodear las fibras. Una vez que las partículas entran en contacto con las fibras, se pegan a ellas y, de este modo, el flujo de aire las filtra.

**Intercepción:** Para ser interceptada, una partícula debe pasar a una distancia inferior al radio de la propia fibra. Así, la fibra interceptará a la partícula que se pegará a ella. El mecanismo de intercepción puede estar relacionado con el mecanismo de inercia cuando la partícula interceptada es demasiado pequeña y su inercia no es lo bastante fuerte como para ir en línea recta. Entonces, la partícula sigue la corriente de aire hasta que entra en contacto con una fibra.

**Tamizado:** El tamizado es un mecanismo de filtración de aire en el que las partículas de un diámetro superior a la distancia libre entre dos fibras no pueden pasar. La partícula es retenida y no puede ir más lejos en la media filtrante. El tamizado es un mecanismo que detiene las partículas gruesas.

## **Tipos de Filtros**

### **Filtros de aire Mecánicos**

Los filtros retienen las partículas del aire porque dichas partículas entran en contacto con la superficie de las fibras de la media filtrante y se adhieren a éstas. Los mecanismos por los que las partículas entran en contacto con las fibras en la media filtrante están descritos anteriormente.

Para este tipo existen dos grandes categorías:

**Filtros de aire con media de fibras finas** – Estos filtros utilizan medias filtrantes cuyas fibras tienen un diámetro lo suficientemente pequeño como para permitir la parada eficaz de partículas submicrónicas sin atracción electrostática. La media de fibras finas tiene a menudo fibras de vidrio.

**Filtros de aire con media de fibras espesas** – Estos filtros utilizan medias filtrantes cuyas fibras tienen un diámetro que no permite, normalmente, detener eficazmente las partículas submicrónicas. Para detener estas partículas con más eficacia, la media se carga electrostáticamente para permitir una atracción electrostática de las partículas. Las medias de fibras espesas tienen a menudo fibras sintéticas.

### **Filtros de aire electrostáticos**

Estos filtros necesitan una fuente de energía externa. Los filtros cargan las partículas en una primera capa y a menudo utilizan un conjunto de láminas paralelas sobre las cuales las partículas se recolectan en una segunda capa.

## **Calidad de aire interior**

La calidad del aire interior está relacionada con la cantidad de gases y aerosoles, con la temperatura y la humedad del aire en el interior de una estructura. En el caso de las viviendas, la calidad del aire está determinada por su capacidad para preservar la salud y el bienestar de los habitantes de la estructura. En el caso de los procesos de fabricación, la calidad del aire está determinada por la capacidad para fabricar productos de buena calidad y libre de contaminación en el interior de la estructura.

¿Por qué se ha debilitado la calidad del aire interior?

Debido a las crisis de la energía producidas a lo largo de décadas y como consecuencia, el costo del calentamiento y la refrigeración del aire en los edificios ha aumentado y se han producido cambios en las técnicas de construcción. Se han reorganizado numerosos edificios mediante aislamiento, espumas de celulosa y puertas y ventanas más gruesas. Se han desarrollado nuevas técnicas de construcción para reducir el traspaso de calor a través de muros y ventanas, así como para reducir el volumen de infiltración

o de intercambio de aire a través de muros, ventanas y puertas. Así, la acumulación de contaminantes y humedad en el interior de edificios anteriormente sanos se ha convertido en un auténtico problema.

El síndrome del edificio enfermo es la denominación común utilizada para los dolores de cabeza, las irritaciones oculares o nasales, el cansancio y otros síntomas, siendo la enfermedad más conocida la legionelosis.

#### Norma europea de ventilación EN 13779

La norma europea EN 13779 está consagrada a ofrecer un entorno interior cómodo y sano en todas las épocas con costes de instalación y de funcionamiento aceptables. Actualmente se ha adoptado como norma nacional en todos los países. Especifica las prestaciones de filtrado que requiere el sistema para ofrecer una buena calidad del aire interior (QAI) en función del aire exterior. El aire exterior se clasifica en 5 categorías, que van desde ODA 1, en la que el aire es puro a excepción de contaminaciones temporales como el polen, hasta ODA 5, en la que las concentraciones tanto de gas como de partículas son elevadas. Las materias en suspensión indican la cantidad total de partículas sólidas o líquidas en el aire. La mayoría de las directrices relativas al aire exterior aún hacen referencia a PM10 (diámetro de las partículas hasta 10  $\mu\text{m}$ ). Pero, por las necesidades de la protección sanitaria, nos interesamos cada vez más por las partículas cuyo tamaño es muy inferior a 10  $\mu\text{m}$ . Los contaminantes gaseosos hacen referencia a las concentraciones de CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y de compuestos orgánicos volátiles.

La tabla indica los niveles de concentración tipo en el aire exterior y sugiere una forma de clasificar la calidad.

Podemos observar que, en la mayoría de las ciudades, lo que llamamos “nivel normal de concentración” de las partículas, es de mala calidad, es decir, ODA 4 u ODA 5. Para las partículas, la Organización Mundial de la Salud se ha fijado como objetivo alcanzar una media anual de PM10 inferior a 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Aún no se ha alcanzado este objetivo. En otras palabras, la mayoría de la población europea pasa la gran parte de su tiempo en lugares en los que el aire exterior debe pertenecer a las categorías ODA 4 u ODA 5. Podemos concluir fácilmente que la utilización de un filtrado apropiado es fundamental en lo que respecta a las preocupaciones de salud pública.

La norma clasifica la calidad del aire interior de IDA 4 (QAI menor) a IDA 1 (QAI buena). Un método tradicional pero limitado para determinar la QAI consiste en estudiar los niveles de CO<sub>2</sub>. El CO<sub>2</sub> es el producto de la respiración humana. Es un buen indicador de la eficacia de la ventilación, pero no de la calidad del aire en absoluto. Otro método conocido para los espacios habitados consiste en especificar el caudal de aire exterior introducido por una persona. Este tipo de valores se utiliza a menudo para dimensionar el sistema de ventilación. La siguiente tabla ofrece una lista de las gamas normales de nivel de CO<sub>2</sub> y de los caudales de aire exterior recomendados para alcanzar diferentes niveles de calidad del aire interior. Podemos observar que ninguno de estos métodos tiene en cuenta los contaminantes en forma de partículas o de gas introducidos en el edificio con el aire exterior.

# VENTILADORES Y SISTEMAS DE VENTILACIÓN (1° Parte)

*Preparado por Luis R. Hinojosa, Ingeniero Civil Mecánico, MSc Building Service Engineering, MCIBSE (UK), Miembro DITAR y Colegio de Ingenieros de Chile.*

## **¿Qué es y cómo funciona un ventilador?**

Un ventilador es una máquina rotatoria que posee un impulsor o alabes, que ejercen una fuerza sobre un fluido (aire o gas), lo cual se traduce en un movimiento continuo aumentando su presión, pero sin cambiar su densidad. Es importante destacar que el movimiento del fluido es continuo y no pulsante, como es el caso de otras máquinas rotatorias. Por otro lado, el aumento de presión debido a un ventilador es considerado bajo o moderado, no como el caso de los compresores, donde esta última es comparativamente más alta. No existe una línea divisoria clara, pero en general los ventiladores no aumentan la presión absoluta en más de un 30% (unos 30.000 Pa).

Un sistema de ventilación puede ser muy simple o muy complicado. Un sistema simple puede corresponder a un ventilador con ductos a la entrada y a la salida. Un sistema un poco más complicado puede incluir, aparte del ventilador, ductos, dampers de control, filtros, serpentines, silenciadores, difusores, etc. El ventilador es el componente que suministra la energía al fluido para vencer la resistencia que ejercen los componentes del sistema. La Figura 1 muestra un ejemplo de un sistema de ventilación.

Los ventiladores pueden dividirse en dos categorías principales, axiales y centrífugos. Existen otros tipos, que de una u otra manera poseen una mezcla de las características de ambos grupos, es por eso que veces se les denomina híbridos.

Es importante mencionar que los ventiladores de pedestal, de cielo y de mesa, corresponden a una clase diferente de ventiladores, comúnmente conocidos como circuladores de aire. Estos no poseen ningún tipo de carcasa, por lo tanto, no generan una diferencia de presión útil, siendo su función principal la de entregar un flujo de aire a lo largo del eje de descarga. Este flujo genera una recirculación de aire en el espacio en el cual está instalado. Este tipo de ventiladores, no será discutido en este artículo.

## **1.1 Presión total, estática y dinámica**

La presión atmosférica existente es debida al peso del aire que está sobre un punto. Esta presión varía a lo largo del planeta, pero en general se asume como valor típico el de 100 kPa. En el caso de un globo inflado, la presión interna del globo es superior a la atmosférica, por ejemplo podría ser 105 kPa, esta es la presión que se conoce como presión absoluta. La diferencia entre la presión absoluta del punto bajo análisis y la presión atmosférica, es lo que importa para la selección de ventiladores.

La presión estática puede definirse como la presión absoluta de un punto menos la presión atmosférica, la cual corresponde a la energía potencial que posee un flujo de aire. Esta presión puede ser positiva o negativa. Otra forma de describirla sería como aquella presión ejercida sobre las paredes de un ducto, medida en forma perpendicular a la dirección del flujo.

Trabajar sólo con presiones estáticas es posible cuando éstas son pequeñas en comparación con presiones atmosféricas y por lo tanto, el aire puede tratarse como incompresible.

## 1.2 Ventiladores Axiales

Los ventiladores axiales funcionan mediante la generación de un empuje aerodinámico a través de la rotación de los alabes. Pero es la fuerza opuesta, aquella ejercida sobre el aire, la que importa ya que es la que produce el movimiento del aire. Para ilustrar el principio de funcionamiento, analicemos el caso de un flujo de aire que pasa a través de una placa (ver Figura 2).

Es claro que el movimiento de aire genera una fuerza en la placa que intente desplazarla hacia arriba y a su vez la placa ejerce una fuerza, de igual magnitud, que fuerza el flujo de aire hacia abajo. Existe un límite en el rendimiento de una placa plana, y mejores resultados se obtienen al utilizar perfiles aerodinámicos (ver Figura 3). Estos últimos poseen menor resistencia al flujo y la habilidad de poseer mayores ángulos de ataque sin que el fluido se despegue del alabe.

Para entender mejor cómo funciona un ventilador axial, es necesario colocar varios alabes uno detrás de otro e imaginar como se movería el flujo de aire. Si todos estos alabes están conectados a una parte central que gira, lo que se obtiene es un flujo de aire axial. Es importante mencionar que la dirección del flujo de aire no cambia, es lo que a veces se denomina ventiladores en línea.

Los principales componentes de un ventilador axial son un impulsor, un motor y un ducto o carcasa, tal como se muestra en la Figura 4.

Existen varios tipos de ventiladores axiales, entre los cuales se pueden mencionar:

- Propeller:

Normalmente usados para intercambiadores de calor. La forma de los alabes son complejos y en general se diseñan para minimizar el ruido. Las presiones generadas son bajas y mueven grandes cantidades de aire.

- Vane axial:

Utilizados en varios sistemas de HVAC, para aplicaciones de baja, media y alta presión donde un sistema en línea representa una ventaja. La calidad del flujo puede ser mejorado incluyendo alabes directores a la salida del impulsor. En general son más compactos que los centrífugos.

- Tube axial:

Utilizados en varios sistemas de HVAC, para aplicaciones de baja y media presión, donde la calidad del flujo a la salida del ventilador no es crítica. Es tal vez uno de los tipos más utilizados por la industria del HVAC.

- Jet Fan:

Utilizados principalmente para ventilar túneles de vehículos que no son extremadamente largos. Los ventiladores generan un jet que empuja el aire a través del túnel. En general son bidireccionales y poseen silenciadores. También pueden ser utilizados para contener posibles incendios dentro de un túnel y ayudar a evacuarlo.

- Pitch Variable:

Estos ventiladores tienen la capacidad de variar el pitch durante su funcionamiento y por ende el punto de operación del mismo.

En general se puede afirmar que los ventiladores axiales son adecuados para mover grandes cantidades de aire a presiones medianas. La Figura 5 muestra una curva característica de un ventilador axial. Puede apreciarse como la relación flujo/presión varía con el ángulo del alabe. Uno de los problemas de los ventiladores axiales es que sufren de “severe stall” aerodinámico, esto significa que una vez que alcanzan la presión peak, esta cae rápidamente. El funcionamiento bajo estas condiciones por períodos

prolongados, pueden llevar a fatigar y quebrar los alabes. Es por esto que es recomendable no operar cerca de esta condición de stall.

### **1.3 Ventiladores Centrífugos**

A diferencia de los ventiladores axiales que utilizan el principio del empuje, los ventiladores centrífugos arrastran el aire en círculos y usan fuerza centrífuga para generar movimiento de aire. Además, estos ventiladores cambian la dirección del flujo a un plano perpendicular al eje de entrada del fluido. Se puede afirmar que en general los ventiladores centrífugos son más eficientes y logran generar mayores presiones que los axiales.

La forma de los alabes pueden ser variados, a continuación se muestran algunas clasificaciones de impulsores:

- Alabe aerodinámico:

El más eficiente de todos los modelos, pueden llegar hasta un 90%. La máxima eficiencia se produce en un punto estable de operación. Usado típicamente para aplicaciones HVAC, donde la eficiencia del sistema es muy importante y donde se mueve aire limpio.

- Alabe curvado hacia atrás:

La eficiencia es un poco menor que el anterior, pero de más fácil construcción, las eficiencias pueden llegar a 85%. Usado para aplicaciones HVAC y aplicaciones industriales, para mover aire limpio y gases con bajas características erosivas.

- Alabe radial:

El más simple de construcción, y a su vez poco eficiente. Buena resistencia mecánica y fácil de reparar. Puede alcanzar presiones mayores, pero las eficiencias en general son menores a 70%. El motor debe seleccionarse con cuidado, ya que la potencia aumenta a medida que sube el caudal. Adecuado para manejar material gases que tienen material particulado, y donde la erosión puede ser un problema.

- Alabe radial:

Este impulsor ha sido especialmente diseñado para el transporte de materiales de fuerte adherencia, pesados, abrasivos o filamentosos. Por lo general tienen 8 paletas radiales soldadas al disco posterior y a un cubo (maza) especial.

Los alabes radiales tienden a ser menos eficientes que los inclinados hacia atrás, y estos últimos menos que los curvados hacia atrás. La mayoría de los ventiladores utiliza una carcasa para recuperar la energía cinética impartida por el impulsor y convertirla a presión estática. Los ventiladores con alabes inclinados hacia atrás se usan habitualmente en aplicaciones HVAC. Estos ventiladores también pueden tener doble entrada, lo cual produce el doble de flujo que un ventilador de una sola entrada a la misma presión de trabajo. Este tipo es muy utilizado en manejadoras de aire.

La figura 7 muestra una curva de rendimiento típica de un ventilador axial, puede apreciarse que el “stall” producido no es tan severo como el caso de los axiales. Los ventiladores centrífugos en general son más robustos y son por ende más tolerantes a operar bajo condiciones inestables.

### **1.4 Otros tipos de ventiladores**

Existen variados tipos de ventiladores, que de una u otra forma corresponden a una mezcla de un ventilador axial con uno centrífugo. A continuación se describen algunos de ellos.

#### **FLUJO MIXTO**

Estos ventiladores incluyen los efectos de empuje y fuerza centrífuga. Estos pueden poseer descarga axial o vertical. Los de tipo axial, poseen una alabes directores a la salida que disminuyen la rotación del flujo a

la salida. Por lo general poseen menos stall que otros ventiladores. La presión generada por un ventilador de este tipo es por lo general mayor a la de un axial. Las eficiencias logradas pueden ser mayores a 60-65%, pero por lo general no mucho mayores que esto. Algunas aplicaciones típicas corresponden a la industria del petróleo offshore.

### **FLUJO CRUZADO**

Los impulsores son similares a los centrífugos de múltiples alabes, pero su principio de funcionamiento es diferente. El flujo cruza de un lado del impulsor al otro, se forma un vortex debido a las fuerzas de los alabes. Las eficiencias son bajas, pero los niveles de ruido son bajos. Son utilizados en general en pequeños equipos domésticos, que poseen una forma rectangular larga y delgada.

### **VENTILADOR DE TECHO**

Existen variados modelos, que utilizan impulsores de tipo centrífugo, axial y flujo mixto. Estos ventiladores por lo general no se conectan a ductos de aire y por lo tanto operan a presiones estáticas bajas. Las eficiencias son por lo general bajas, 50% o menores. Los impulsores de tipo centrífugos son más eficientes, los de flujo mixto más silenciosos y los axiales pueden mover mas flujo. Sus usos típicos son para extracciones de cocinas, bodegas, instalaciones comerciales, entre otras.

### **VENTILADOR DE PLENO**

Es un ventilador que posee un impulsor de tipo centrífugo dentro de un pleno. Son diseñados para generar altos volúmenes de aire a presiones medias o bajas, pero con eficiencias bajas. Este ventilador no posee una carcasa como otros, y por lo tanto una buena parte de la energía cinética se pierde y no es convertida en presión estática. Su principal uso es en manejadoras de aire.

## **2. Leyes de los ventiladores y resistencia del sistema**

### **2.1 Leyes de los ventiladores**

No es muy práctico realizar pruebas de rendimiento para cada tamaño de ventilador, a todas las velocidades disponibles de operación y para las diferentes densidades de gases que pudiera utilizar. Es aquí donde las leyes de los ventiladores son de gran utilidad, ya que permiten predecir el rendimiento de ventiladores, geoméricamente similares, para diferentes tamaños y velocidades.

Estas leyes son útiles para estimar cambios en el flujo de aire, presión y potencia para un ventilador cuando cambia su tamaño, velocidad de rotación o cuando cambia la densidad de un fluido. Es importante destacar que estas leyes se aplican a un mismo punto de operación de la curva característica y no para predecir otros puntos de operación de la misma curva.

Estas formulas se simplifican si no hay cambios en la densidad del aire y en el diámetro, y por lo tanto los cambios sólo se deben a la variación de velocidad. Es decir, el flujo varía en forma proporcional a la velocidad de rotación, la presión en forma proporcional al cuadrado de la velocidad y la potencia en forma proporcional al cubo de la velocidad.

La Figura 8 muestra como el efecto de aumentar o disminuir la velocidad, puede ser estimado mediante el uso de las leyes de los ventiladores.

### **2.2 Resistencia del sistema**

Cuando el aire circula a través de un sistema de ductos, la energía transferida por el ventilador al aire se pierde en forma progresiva por:

- Roce debido al contacto con las paredes de los ductos.

- Turbulencia generada en las curvas, dampers, cambios de sección.
- A través de serpentines, calefactores, filtros y otros elementos presentes en el sistema.

El ventilador debe ser capaz de vencer la caída total de presión del sistema, tal como se muestra en la Figura 9.

La pérdida de presión debido a todos los elementos del sistema se conoce como la resistencia del sistema, y para efectos prácticos se puede afirmar que es proporcional al cuadrado de la velocidad en el punto de pérdida. Por lo tanto, para un sistema fijo, se podría decir que la presión requerida por flujo de aire varía en forma proporcional al cuadrado de este último. Si se quiere duplicar el flujo de aire en el sistema, la presión a vencer será cuatro veces mayor.

Por ejemplo, si el flujo inicial es  $6\text{m}^3/\text{s}$  a una presión de  $3\text{kPa}$  y es necesario duplicar el flujo, la nueva presión que el ventilador deberá generar es  $12\text{kPa}$ . Esto es sólo válido para un sistema fijo y a densidad constante. Si las condiciones cambian, lo anterior no es válido.

### 2.3 Combinación de la resistencia y de las leyes

Tal como fue mencionado, la caída de presión en un sistema aumenta o disminuye en función del cuadrado del flujo de aire, o de la velocidad del aire. Cuando un ventilador es conectado a un sistema, el caudal de aire se estabilizará cuando la caída de presión del sistema sea igual a la presión aportada por el ventilador. Esto se puede ver en el punto A de la Figura 10, donde la curva del sistema cruza la curva del ventilador. A esto se le denomina el punto de operación.

Un cambio en la resistencia del ventilador (causado por el cierre o apertura de un damper por ejemplo) resultará en cambios en el punto de operación. En la siguiente figura es posible apreciar que si baja la presión del sistema al punto B, el nuevo punto de operación del ventilador entregará un caudal mayor. Por otro lado si la presión del sistema sube, podría ser posible llegar a un nuevo punto de operación C. Debe notarse que es posible que la caída de presión sea la misma para los puntos A y C, pero el caudal generado por el ventilador es menor en el punto C. Esto es exclusivamente debido a la curva característica del ventilador.

Es importante notar que si el punto de operación real es muy diferente del punto de diseño, esto puede ocasionar que haya diferencias considerables en el consumo de potencia del ventilador.

Como fue mencionado anteriormente, un cambio en la velocidad del ventilador producirá un cambio de igual magnitud en el caudal de aire, esto debido a las leyes de los ventiladores. Sin embargo, la potencia requerida variará en forma proporcional al cubo de la velocidad. Es decir si la velocidad aumenta en un 10%, la potencia absorbida aumentará en 33%. Esto se muestra en la siguiente figura.

Las leyes de los ventiladores no pueden ser aplicadas, si el cambio de caudal es logrado debido a que se utiliza otro tipo de ventilador.

Si existe un cambio de densidad, esta alterará la curva característica del ventilador y la curva del sistema. Esto se puede apreciar en la Figura 11, mostrado en línea entrecortada. Estos cambios pueden ser estimados utilizando las leyes de los ventiladores. De acuerdo a las leyes, para un caudal de aire dado, la presión del ventilador es proporcional a la densidad. Por otro lado, la presión del sistema también es proporcional a la densidad del aire.

Por ejemplo, si la densidad es 20% menor a la densidad estándar, la presión del ventilador y la del sistema se ven reducidas en un 20%, pero el caudal se mantiene constante. Esto puede ocurrir en sistemas que operan a alta temperatura o a grandes altitudes. Si bien es cierto el caudal no cambia, el caudal másico sí lo hace, ya que depende de la densidad. Esto es relevante en el caso de intercambiadores de calor y de ventiladores a grandes altitudes. La potencia absorbida también varía en forma proporcional a la densidad.

### 3. Selección de ventiladores

Al seleccionar un ventilador para una aplicación específica, en general, es posible seleccionar varios tipos y tamaños de ventiladores que son capaces de realizar el trabajo requerido. Ahora bien algunas selecciones son mejores que otras y es responsabilidad del ingeniero/consultor de escoger la más adecuada. Al momento de especificar un producto, será necesario entregar la siguiente información:

- Caudal requerido (m<sup>3</sup>/s, cfm, m<sup>3</sup>/h, etc.)
- Presión o resistencia total del sistema (Pa, in.wg, etc)
- Ruta a recorrer por el aire (lineal u otra, dependiendo de esto un ventilador axial puede ser más útil que uno centrífugo)
- Suministro eléctrico disponible
- Eficiencia mínima del ventilador requerida
- Restricciones de tamaño o espacio
- Máximo nivel de ruido aceptable
- Opciones de control
- Temperatura del ambiente
- Aplicaciones especiales (extractor de humo, atmósferas corrosivas, ambientes explosivos, etc.)

#### 3.1 Curva característica de un ventilador

El funcionamiento de un ventilador puede ser descrito en función del caudal y presión que puede generar. No es posible seleccionar un ventilador con un solo parámetro, ambos deben ser especificados. Las curvas características de un ventilador describen esta relación entre el caudal y la presión que son posibles de obtener. El caudal es siempre graficado en el eje X y la presión en el eje Y. La Figura 5 muestra una curva característica para un ventilador axial.

Es siempre posible identificar un punto en la curva para el cual la eficiencia es máxima. Además de poseer el menor consumo para punto de operación dado, por lo general también corresponde al punto con menor nivel de ruido.

Es importante mencionar que se debe evitar seleccionar puntos de operación cercanos o dentro de la región de inestabilidad (“stall region”). Cuando un ventilador trabaja bajo estas condiciones, baja su eficiencia, genera turbulencia y mayores niveles de ruido. La turbulencia también puede llevar a la creación de estreses fluctuantes en el impulsor, lo que puede terminar en la falla del impulsor.

#### 3.2 Niveles de ruido

Es importante ser muy cuidadoso al comparar niveles de ruido entre ventiladores. Los principales puntos que deben considerarse son:

- Qué método de medición fue utilizado
- El nivel sonoro es expresado como potencia o presión sonora
- Han sido ajustados de acuerdo a la curva A (A-weighted)
- Los niveles son para un sistema con o sin ductos
- Las mediciones corresponden a la entrada o salida, o promediado sobre una esfera o semiesfera.

Los ventiladores centrífugos producen la mayoría del ruido en frecuencias bajas, mientras que los axiales lo hacen en frecuencias altas. El ser humano en general es capaz de aceptar mayores niveles de ruido a bajas frecuencias. Por otro lado es más fácil atenuar ruidos de alta que de baja frecuencia. Es por eso que a veces un ventilador axial funcionando a alta velocidad con un silenciador, es más económico que un centrífugo funcionando a baja velocidad.

Los niveles de ruido son por lo general más bajos cerca del punto de máxima eficiencia y más altos cerca de la condición de inestabilidad. Existen diferentes opciones de atenuación como: silenciadores a la entrada y/o salida, material absorbente de ruido adherido a los ductos, entre otros. Dependiendo de la atenuación, se pueden usar silenciadores del tipo split o en línea. Los del tipo splitter son más caros y más adecuados para frecuencias medias y bajas.

### **3.3 Características de diferentes tipos de ventiladores**

La Figura 12 muestra un resumen de las características de funcionamiento típicas de los tipos de ventiladores más comunes. Esto sirve para identificar qué ventiladores son más útiles para distintos sistemas. Esto es sólo una forma simplista de caracterizar a algunos tipos de ventiladores. Existen muchas otras combinaciones de ventiladores, tales como axiales multi-etapa y centrífugos con variados diseños de impulsor.

### **4. Efectos de instalación**

Es importante mencionar que las curvas de los ventiladores son obtenidas bajo condiciones de laboratorio, es decir bajo condiciones de instalación ideales. Las pruebas de rendimiento se realizan en condiciones donde no existe turbulencia a la entrada del ventilador y donde el aire sale sin restricciones.

Turbulencia en el aire afecta el rendimiento del impulsor, reduce la generación de presión y produce mayores niveles de ruido. Ventiladores instalados en condiciones poco favorables, presentarán problemas de rendimiento y serán más ruidosos de lo esperado. Flujos turbulentos de alta velocidad, por su lado generan mayores pérdidas de carga y requieren de mayores cantidades de energía para funcionar.

A continuación se describen algunos ejemplos de instalaciones que pueden afectar el rendimiento del ventilador.

Las mejoras en las instalaciones de ventiladores tienen mucho de sentido común. El uso de algunos accesorios, tales como conos de entrada, difusores a la salida, codos con alabes directores, entre otros, ayuda a mejorar el rendimiento. Es siempre recomendable seguir las indicaciones del fabricante, con el fin de minimizar las pérdidas y optimizar el funcionamiento de los ventiladores.

### **5. Control de ventiladores**

Por cada litro/segundo de aire que se mueve en forma innecesaria a través de un sistema, se estima que se desperdician 2 Watts de potencia. Esto es sólo una generalización, ya que no incluye la energía requerida para enfriar o calentar el aire, en el caso de sistemas climatizados. En el caso de aplicaciones industriales, pueden ser aun más crítico.

Existen diversas razones por las cuales se debería controlar el flujo de un ventilador:

- Incertidumbres del sistema
- Cambios en la capacidad del sistema
- Variaciones del flujo con los niveles de ocupación
- Variación del flujo con las condiciones ambientales
- Cuando el fluido es usado como un medio de transporte de energía.

Los métodos de control más utilizados se mencionan a continuación.

#### **5.1 Cambio en la velocidad de rotación**

Una de las formas más eficientes de controlar el funcionamiento de un ventilador es cambiando la velocidad de rotación. De acuerdo a las leyes de los ventiladores, un cambio en la velocidad del ventilador puede provocar importantes cambios en la potencia absorbida del ventilador.

Existen diversas formas de cambiar la velocidad del ventilador, entre las que se encuentran:

- Cambio de correas y poleas.

Utilizado donde los cambios en el punto de operación son poco frecuentes. El sistema de transmisión es por lo general eficiente y se utiliza para reducir la velocidad de los motores utilizados. El cambio de poleas y correas requiere tiempo y un cierto grado de habilidad.

- Motores de varias velocidades.

Los más típicos poseen razones fijas de 1:2 y de 1:1.5. Estos motores son por lo general de bajo costo y pueden incluir alguna lógica de control o ser controlados en forma manual.

- Variadores de frecuencia.

Estos han mejorado mucho en las últimas décadas, han reducido sus costos y mejorado sus eficiencias. Pueden ir de 150 W hasta miles de kW. Variando la frecuencia se pueden reducir velocidades del ventilador hasta un 20% sin mayores consecuencias. Las eficiencias de estos aparatos es en general mayor a 96%, pero puede provocar una reducción en la eficiencia de los motores de 1 o 2%. Existen variados modelos y marcas en el mercado. Es recomendable tener cuidado con las emisiones electromagnéticas, ya que éstas pueden generar problemas en otros sistemas asociados.

## **5.2 Cambio en la geometría del ventilador/aire**

La capacidad operacional de un ventilador queda determinada por la interacción existente entre los alabes y el fluido. Esta interacción puede variar, si es posible cambiar la geometría del alabe o si es posible cambiar la dirección del flujo de aire relativa al impulsor.

Lo anterior puede ser logrado mediante la variación del ángulo de pitch en un ventilador axial. Esto puede realizarse en forma manual, y al igual que el cambio de poleas, conlleva un cierto grado de complejidad y sólo puede realizarse con ventilador detenido.

Existen ventiladores para los cuales es posible variar el pitch en movimiento, pero éstos tienden a ser más complicados en construcción, debido a que poseen sofisticados sistemas de control. Estos ventiladores tiende a no ser mayores a 1000 mm.

En el caso de ventiladores centrífugos, se tiende a utilizar “inlet guide vanes” a la entrada del ventilador. Esto le imparte una pre-rotación al fluido en la misma dirección de rotación del impulsor. Esto posee el efecto de descargar el impulsor y por lo tanto, de transferir una menor cantidad de energía al fluido.

## **5.3 Cambio en el sistema**

Otra forma de variar el flujo de un ventilador es mediante un cambio en las características del sistema de ventilación. Una de las formas más comunes es utilizar dampers de control, que permiten aumentar la resistencia del sistema y disminuir el flujo de aire. Este método de control es tal vez uno de los más simples y de bajo costo, pero no necesariamente mas efectivos. Dampers de control pueden provocar mayores niveles de ruido y vibración, y los ahorros energéticos dependerán de las características del ventilador.

## **6. Operación en paralelo y serie**

### **6.1 Operación en paralelo**

Esto corresponde a la situación donde dos a más ventiladores están conectados al mismo sistema. Sería lógico de pensar que dos ventiladores idénticos en paralelo deberían entregar el doble de flujo que un ventilador, funcionando en él el mismo sistema y a la misma presión de trabajo. Sin embargo esto no es cierto, debido a que el aumento de flujo genera un aumento en la caída de presión del sistema.

Lo anterior se puede visualizar en la Figura 13, donde el flujo generado por un solo ventilador (punto A) aumenta al incluirse un ventilador idéntico (punto A1). La curva del sistema se extiende hasta la nueva curva generada del sistema de ventiladores. Dependiendo de la curva característica del sistema, el aumento del flujo al incorporar un nuevo ventilador puede ser menor o mayor al doble del generado por un solo ventilador.

Dependiendo de la forma de la curva del ventilador, se pueden producir zonas de inestabilidad al momento de operar los ventiladores. Esto puede llevar a que los ventiladores, en forma alternada, mueven una mayor o menor cantidad de flujo y por ende varían su consumo de potencia.

Si existen varios ventiladores en paralelo, y algunos no se utilizan (operación stand by), es muy importante que estos posean dampers anti-retorno. Esto con el fin de prevenir movimiento de aire a través de estos ventiladores, que puede afectar el funcionamiento del sistema.

Con el fin de evitar complicaciones de operación, es preferible que los ventiladores sean idénticos (tamaño, tipo, velocidad) si se desean usar en paralelo. Es recomendable solicitar la ayuda de los fabricantes, si se necesita utilizar ventiladores en paralelo.

## **6.2 Operación en serie**

En este caso el flujo del sistema se mantiene, pero se produce un aumento de presión en cada ventilador. Los ventiladores pueden ser máquinas distintas o varios impulsores conectados a un eje común.

En el caso de ventiladores axiales, los impulsores pueden estar rotando en la misma dirección o en direcciones opuestas. Si rotan en la misma dirección, se recomienda usar alabes guías para minimizar el efecto de rotación a la entrada del impulsor. Esto asegura una mejor operación del segundo impulsor.

En el caso de impulsores que rotan en direcciones opuestas, típico para ventiladores axiales, el aumento de presión puede llegar a 2,5 veces de la presión generada por un solo ventilador. Este tipo de ventiladores no utilizan alabes directores.

Al incluir un nuevo ventilador, se producirá un aumento de presión y de flujo. El aumento en el flujo dependerá mucho del punto de operación, esto se muestra en la Figura 14. Este tipo de operación puede utilizarse como una forma de control, pero se debe tomarse en cuenta que cuando se detiene un ventilador este representará una caída de presión y por ende afectará la curva del sistema.

**El artículo: VENTILADORES Y SISTEMAS DE VENTILACIÓN.  
Continúa en la revista Frío y Calor N° 92.**

## **BOMBAS DE CALOR AIRE - AGUA. Uso en Chile**

*Preparador por Franco Dalmazzo, Ingeniero Empresa Codifer Ltda.*

La crisis energética, nos obliga a buscar soluciones alternativas, en el caso del calentamiento de agua tanto industrial como ACS, y calefacción, podemos ver con agrado que se está masificando rápidamente el uso de los colectores solares, no obstante hay otras soluciones de gran rendimiento, que no contaminan, y que se adaptan mejor en algunos requerimientos, en cuanto a precio, recuperación de la inversión, rendimiento, o espacios físicos, una de ellas utilizada mundialmente son las bombas de calor, los expertos de países más desarrollados no entienden que en Chile aún no se utilicen en forma masiva, exceptuando las piscinas, considerando que nuestro país no es productor de energías fósiles, paga un alto precio por ellas, no hay seguridad futura del suministro y contamos con profesionales de alto nivel que debieran considerarlas seriamente en los proyectos.

Existen bombas de calor aire- aire, (aire acondicionado) las hay agua - agua (energía geotérmica), y las de aire-agua, que extraen el calor del aire para traspararlo al agua, estas últimas, están concebidas con sólo dos elementos eléctricos, un compresor, y un ventilador, y permiten ahorros hasta del 80% en el calentamiento de agua, en comparación a las tradicionales calderas a gas.

La bomba de calor recupera el calor del exterior y lo transfiere a un nivel de temperatura más elevado al circuito de agua caliente de la instalación.

Se instala generalmente en el exterior, y el coeficiente COP varía cuando las temperaturas exteriores descienden, son capaces de funcionar desde 10°C hacia arriba, es por esto que se debe utilizar un apoyo complementario, electricidad, petróleo, madera, gas, etc., cuando las temperaturas bajen. Cabe destacar que el promedio de temperatura en Santiago de Chile en los meses más fríos, Junio, Julio, y Agosto, es de 12°C.

En caso de agua caliente sanitaria, o de uso industrial, no son relevantes las temperaturas muy bajas si se guarda temperatura en estanques, en total las bajas temperaturas representan un 5% del tiempo total del año.

La bomba de calor puede equipar toda una casa (grupo pisos) y se presenta bajo la configuración de un sistema centralizado con una unidad exterior que absorbe las calorías del aire, y la transmite en calor con la potencia del compresor a un circuito de agua caliente. Las bombas de calor calientan esta agua a baja temperatura, cercana como máximo a 60° C. Como consecuencia de esto, se adaptan especialmente a circuitos de baja temperatura como los suelos radiantes.

Por el contrario, abastecer con una bomba de calor solamente un circuito de radiadores comúnmente calculado a 80°C plantearía problemas de falta de calefacción con temperaturas exteriores más frías.

Los equipos se deben calcular según las regiones, dependiendo de la temperatura exterior, por ejemplo el COP de 3 se alcanza a partir de los 20°C

Cecinas Llanquihue, ejemplo de eficiencia energética, tiene instaladas varias bombas de calor para sus procesos productivos obteniendo importantes ahorros.

Las bombas de calor utilizadas en piscinas privadas y públicas, son la única alternativa viable hoy en Chile, de hecho la mayor parte de las piscinas las utilizan, y con excelentes resultados, previniendo las pérdidas calóricas construyendo piscinas techadas, y además con cubiertas térmicas, evitando la convección y evaporación.

El calentamiento de piscinas con calderas a gas es muy rápido, las bombas de calor llegan más lento a las temperaturas, requeridas pero con ahorros hasta del 70%.

# EL OZONO Y SU SALUD

## ¿Qué es el Ozono o el Smog? ¿Corre usted riesgo? ¿Cómo puede protegerse?

*EPA, United States, Environmental Protection Agency Air and Radiation*

*El ozono, el ingrediente principal del smog, presenta un problema serio para la calidad del aire en muchas partes de los Estados Unidos. Aún a niveles bajos, el ozono puede causar un número de problemas respiratorios. Usted puede tomar unos pasos sencillos, descritos en este folleto, para protegerse del ozono.*

### ¿Qué es el ozono?

El ozono es un gas que ocurre tanto en la atmósfera superior de la Tierra como a nivel del suelo. El ozono puede ser bueno o malo, dependiendo de dónde se encuentra en la atmósfera:

**Ozono Bueno.** Este ozono se encuentra en la atmósfera superior de la Tierra—10 a 30 millas sobre la superficie de la Tierra—donde forma una capa que nos protege de los rayos dañinos ultravioleta del sol.

**Ozono Malo.** Este se forma en la atmósfera inferior de la Tierra, cerca del nivel del suelo. Este ozono se forma como resultado de una reacción química, en presencia de la luz solar, entre los contaminantes emitidos por los automóviles, las plantas de energía, las calderas industriales, las refinerías, las plantas químicas y otras fuentes de emisiones. La contaminación ocurre durante los meses de verano cuando las condiciones del clima son propicias para formar el ozono al nivel del suelo: mucho sol y temperaturas altas.

### ¿Está usted bajo riesgo a causa del ozono malo (el que se halla al nivel del suelo)?

Varios grupos de personas son particularmente sensitivos al ozono, especialmente cuando realizan actividades al aire libre, porque la actividad física causa que las personas respiren más rápida y profundamente.

Los niños activos son el grupo de mayor riesgo por exposición al ozono porque en general pasan una gran parte del verano jugando al aire libre. Los niños tienen una mayor probabilidad de padecer asma, la cual puede empeorar debido a la exposición al ozono.

Los adultos físicamente activos que hacen ejercicios o trabajan arduamente al aire libre están más expuestos al ozono que las personas que son menos activas.

Las personas con asma u otras enfermedades de las vías respiratorias son más vulnerables a los efectos del ozono y por lo general sienten efectos en la salud de manera más temprana y a niveles de ozono más bajos que los individuos menos sensitivos.

Hay personas con una susceptibilidad mayor de lo común al ozono. Los científicos aún no saben por qué, pero algunas personas saludables pueden sentir efectos de salud a niveles menores de actividad al aire libre o a niveles menores de ozono en el aire que la persona promedio.

En general, a medida que las concentraciones de ozono al nivel del suelo aumentan, más personas sienten los efectos de salud, más serios se vuelven los efectos, y más personas son admitidas a los hospitales por

problemas respiratorios. Cuando los niveles de ozono son muy altos, todos nos debemos preocupar por la exposición al ozono.

### **¿Cómo puede el ozono del nivel del suelo afectar su salud?**

El ozono puede irritar su sistema respiratorio, provocándole la tos, causándole irritación en la garganta y/o una sensación incómoda en su pecho.

El ozono puede reducir la función pulmonar y hacer más difícil la respiración profunda y vigorosa normal. Cuando esto sucede, usted podrá notar que la respiración comienza a sentirse incómoda. Si se encuentra haciendo ejercicios o trabajando al aire libre, podrá notar que está respirando más rápida y superficialmente que lo normal.

El ozono puede empeorar el asma. Cuando los niveles de ozono son altos, más personas con asma tienen ataques que requieren atención médica o el uso adicional de medicamentos. Una razón por la cual esto sucede es que el ozono hace que las personas sean más susceptibles a los alérgenos, los agentes que provocan los ataques de asma.

Otros efectos severos para los asmáticos son función pulmonar reducida y la irritación que el ozono causa al sistema respiratorio.

El ozono puede inflamar y dañar las células que forran los pulmones. Al cabo de unos pocos días, las células dañadas son reemplazadas y las células viejas se desprenden de la manera en que su piel se exfolia después de una quemadura de sol.

El ozono puede empeorar las enfermedades pulmonares crónicas tales como el enfisema y la bronquitis y reducir la capacidad del sistema inmunológico para defender al sistema respiratorio de las infecciones bacterianas.

El ozono puede causar daño permanente al pulmón. Repetido daño a corto plazo en los pulmones en desarrollo de los niños puede resultar en una función pulmonar reducida en edad adulta. En los adultos, la exposición al ozono puede acelerar la disminución natural de la función pulmonar que ocurre como parte del proceso normal de envejecimiento.

### **¿Hay siempre síntomas?**

El efecto dañino del ozono también puede ocurrir sin ningunas señas o síntomas. Las personas que viven en zonas donde los niveles de ozono son frecuentemente altos pueden notar que sus síntomas iniciales desaparecen con el tiempo, particularmente cuando la exposición a los niveles altos de ozono continúa durante varios días. El ozono continúa causando daño pulmonar aún cuando los síntomas hayan desaparecido. La mejor manera de proteger su salud es mantenerse informado acerca de los niveles elevados de ozono en su localidad y tomar precauciones sencillas para minimizar la exposición aún cuando no tenga síntomas obvios.

### **¿Cómo puede evitar exponerse al ozono?**

Las probabilidades de ser afectado por el aumento del ozono aumentan mientras más tiempo permanezca realizando actividades al aire libre y más ardua sea la actividad en la que se encuentre ocupado. Si realiza una actividad que requiere gran esfuerzo físico, puede reducir el tiempo que le dedica a esa actividad o sustituirla por otra actividad que requiera un esfuerzo más moderado (por ejemplo, tome una caminata en vez de correr). Además, usted puede planear actividades al aire libre cuando los niveles de ozono sean menores, generalmente por la mañana o al atardecer.

Los ejemplos de actividades que requieren esfuerzo moderado incluyen subir escaleras, jugar al tenis o béisbol, trabajos sencillos de jardinería o construcción, y correr, conducir una bicicleta o practicar un excursionismo ligero. Las actividades que requieren un esfuerzo pesado incluyen jugar al baloncesto o fútbol, cortar leña, hacer trabajos manuales pesados, correr, conducir una bicicleta, o practicar el excursionismo de manera vigorosa. Debido a que los niveles de acondicionamiento físico varían ampliamente entre los individuos, lo que es un esfuerzo moderado para una persona pudiera ser un esfuerzo pesado para otra. No importa en cuán buena condición física esté usted, reducir el nivel o el período de duración de la actividad cuando los niveles de ozono estén altos le ayudará a protegerse de los efectos dañinos del ozono.

### **El Índice de Calidad del Aire**

El Índice de Calidad del Aire, (Air Quality Index, AQI), es una escala para reportar los niveles verdaderos de ozono y de otros contaminantes comunes en el aire. Mientras mayor sea el valor del AQI, mayor deberá ser la preocupación por la salud. Tal como se muestra en la tabla superior, la escala de AQI se ha dividido en categorías que corresponden a diferentes niveles de riesgo por la salud.

Se ha asignado un color específico a cada categoría de AQI. Por ejemplo, el rojo significa condiciones “dañinas a la salud” y el púrpura significa condiciones “muy dañinas a la salud”. Este esquema de colores puede ayudarle a determinar rápidamente si los contaminantes del aire están alcanzando niveles muy dañinos a la salud en su zona.

Usted puede encontrar el AQI para su zona reportado en su periódico o su estación local de televisión o radio. He aquí el tipo de reporte que usted pudiera escuchar:

El Air Quality Index fue de 160 hoy. La calidad del aire fue dañina a la salud debido al ozono. El clima caliente y soleado y el aire estancado causó que el ozono en Center City se elevara a niveles dañinos a la salud .

La ilustración AQI muestra el AQI reportado en un periódico. En este ejemplo, se reporta un valor de AQI de 130, lo que significa que los niveles de ozono son dañinos a la salud de los grupos sensibles.

### **AIRNOW**

([www.epa.gov/airnow](http://www.epa.gov/airnow)) es un sitio de la red mundial que proporciona información diaria acerca del ozono y de cómo puede afectarle.

AIRNOW contiene:

- Mapas de ozono que utilizan contornos basados en el AQI para mostrar niveles en las zonas locales. Usted puede determinar rápidamente si las concentraciones de ozono están alcanzando niveles muy dañinos a la salud.
- Predicciones del ozono en el verano.
- Ideas sobre lo que usted puede hacer para reducir los niveles de ozono, tales como manejar menos, asegurarse de que su automóvil esté bien afinado, y participar en los programas locales de conservación de energía.
- Enlaces a los programas estatales y locales de calidad del aire.
- EL SMOG ¿A Quién Perjudica? es un folleto que proporciona más información acerca de los efectos del ozono en la salud y de cómo puede protegerse a sí mismo.

Los mapas que proporcionan información diaria acerca de los niveles de ozono se encuentran disponibles en el sitio de la red mundial AIRNOW.

## FICHA TÉCNICA COMERCIAL

# EFFECTOS DE LOS CONTAMINANTES COMUNES DEL AIRE

*EPA, United States, Environmental Protection Agency Air and Radiation*

## PRINCIPIO DE LA CALDERA DE CONDENSACIÓN

Una Caldera de condensación es un artefacto que produce agua caliente a baja temperatura 40-60°C, con una alto rendimiento.

Los hidrocarburos contenidos en los combustibles (gas natural, gas propano, petróleo) están compuestos entre otros por carbono e hidrógeno en diversas proporciones que, al mezclarse con el oxígeno del aire, forman dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O).

Cada litro de agua en forma de vapor tiene una capacidad para ceder 2260 jules (J) si se condensa, energía térmica que, en estas calderas, se envía a la atmósfera.

Además, los combustibles, especialmente los líquidos, tienen algunas impurezas, como el azufre que forma óxidos de azufre al combinarse con el oxígeno atmosférico. En las calderas corrientes, los gases de la combustión, se evacúan a temperaturas superiores a 150°C, para conseguir tiro térmico y para evitar que el agua condense y forme ácidos sulfúrico o sulfuroso al combinarse con los óxidos de azufre, que corroería sus partes metálicas.

Sin embargo, el uso de combustibles sin contenido de azufre, como los gases naturales y propano permitió idear una caldera, la de condensación, que aprovecha la energía latente en el vapor de agua (los mencionados 2260 jules, por litro). Para conseguirlo debe preparar el agua a una temperatura máxima de 70°C (en vez de 90°C, como las calderas corrientes) y evacuar los gases a temperaturas inferiores a las de condensación (100°C a nivel del mar) lo que, por otro lado, reduce el tiro térmico del conducto de gases, y hace necesario utilizar quemadores de aire forzado.

El rendimiento de estas calderas resulta ser superior al 100% (medido en las condiciones tradicionales, sobre el poder calorífico inferior) lo que puede parecer increíble pero que es cierto. Sobre el poder calorífico superior (teniendo en cuenta el calor latente del agua) es, por supuesto, un rendimiento inferior al 100%.

El poder calorífico inferior (que no tiene en cuenta el calor de condensación del agua) se definió como el máximo calor que se podía obtener en una combustión racional sin poner en riesgo la caldera.

Como consecuencia (de la menor temperatura del agua preparada) los emisores finales del calor deben tener mayor superficie de intercambio (radiadores más grandes) o ser de baja temperatura (suelos radiantes o calefacción por aire).

## LA CALDERA PRESTIGE DE CONDENSACIÓN

Albin Trotter & ACV se inclinó por la tecnología de la condensación para utilizar los recursos naturales de la forma más eficiente y ecológica, procurando un rendimiento elevado y un consumo reducido para toda su gama de Calderas PRESTIGE de Condensación.

Como lo mencionamos anteriormente, los humos productos de la combustión, normalmente eliminados por la chimenea, contienen energía recuperable, aumentando el rendimiento de la caldera. El rendimiento normalizado de una caldera PRESTIGE de condensación alcanzará de esta manera el 109% sobre el

P.C.I.(poder calórico inferior) del gas quemado, que se traduce inmediatamente en un ahorro energético del 25/30% con respecto a una instalación tradicional.

## **LA IMPORTANCIA CAPITAL DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR**

1. De lo que se puede observar en el mercado mundial existen varios tipos de intercambiadores de calor para las calderas de condensación, uno de ellos (el más común hasta hace algún tiempo) Aluminio-Acero enfrentó enormes problemas de fiabilidad para las calderas de condensación equipadas con este tipo de intercambiador (aluminio-acero inoxidable) El conjunto en la unión de la sección de aluminio y el acero inoxidable no resiste la corrosión y daña irremediablemente el intercambiador de calor, teniendo que reemplazar el intercambiador de calor de la caldera de condensación a un costo alto, con lo que se pierde el ahorro de gasto en energía.

2. Por otra parte, existen los intercambiadores de calor (con agua en tubos de acero inoxidable austenítico) y están hechos normalmente de cuatro bobinas conectados a un colector en cada terminación, se produce una segregación en los colectores al reducir el caudal que pasa por el cuarto de bobina que a su vez provoca el depósito de sedimentos en el tubo, la falta de refrigeración del tubo de alta temperatura y la corrosión. Este defecto es real pero no perceptible a gran escala. Algunos fabricantes han hecho una afinación hasta una nueva versión de su intercambiador de calor de acero inoxidable ferrítico: éste va a aumentar la resistencia a la corrosión, pero no resolverá el problema de caudal.

3. En el último tiempo varios fabricantes han abandonado oficialmente el intercambiador de calor de aluminio y han normalizado su intercambiador de calor como una bobina de agua en forma de tubos de acero inoxidable. Sin embargo se han visto enfrentados a los problemas antes descritos.

## **PRESTIGE, UN CORAZÓN DE ACERO INOXIDABLE**

El corazón de las calderas de condensación PRESTIGE es el intercambiador de calor de acero inoxidable, fruto de estudios y pruebas intensas, unidos a la experiencia de ALBIN TROTTER & ACV, que desde hace 80 años utiliza el acero inoxidable en la calefacción y la producción de agua caliente. Los gases de la combustión se canalizan verticalmente a lo largo de los tubos del intercambiador: los humos condensados en la parte baja inte cambian la totalidad de la energía creada por la combustión, permitiendo a las PRESTIGE un rendimiento particularmente elevado.

La particular geometría del intercambiador ha sido calculada con el objeto de conseguir un gran número de Reynolds en todos los recorridos. La PRESTIGE puede ofrecer así un rendimiento excepcional que se mantiene estable durante toda la vida útil de la caldera, gracias a su intercambiador de acero inoxidable de diseño único.

El intercambiador de calor PRESTIGE no es solamente un intercambiador de calor de acero soldado si no que es:

- (i) De acero inoxidable,
- (ii) De acero inoxidable ferrítico, a diferencia de los tradicionales (austeníticos), resistirá la corrosión.
- (iii) Recto, y no circular.
- (iv) De tubos de fuego y no de tubos de agua al igual que todos los Intercambiadores de calor tradicionales de aluminio y acero inoxidable, lo que hace una enorme diferencia en el ancho de los canales de agua, contenido de agua y la inercia térmica.
- (v) Único, diseño propio.
- (vi) Extremadamente fiable - ningún intercambiador de calor ha ido reclamado por la garantía del producto desde su lanzamiento en Europa en 2003.

En comparación a un intercambiador de calor de aluminio, (i) el argumento de peso ligero de aluminio no es válido para grandes aportaciones: En las PRESTIGE 50, 75 y 120 kW el intercambiador de calor suele ser más liviano que sus similares con intercambiador de aluminio. Efectivamente la densidad de material ligero de aluminio es contrarrestado por las paredes más gruesas, debido al proceso de fundición, (ii) el acero inoxidable no se erosiona mientras que el aluminio sí, (iii) El intercambiador PRESTIGE de acero inoxidable acepta variaciones de temperatura tanto del sistema de gas como el de agua, mientras que los que poseen partes de aluminio son mucho más sensibles a estas variaciones, (iv) El intercambiador de acero inoxidable no se ve perjudicado por contenidos de azufre del gas natural de algunas regiones, mientras que el mismo gas, simplemente mata al aluminio, (v) de acero inoxidable da cabida a prácticamente cualquier tipo de aditivo anti-congelación, mientras que el aluminio sólo acepta mono-etileno glicol. significando que el intercambiador PRESTIGE de acero inoxidable es mucho más tolerantes para el t, más resistentes a la corrosión de ambos lados (gas y agua) y prácticamente no se erosiona. En resumen, una mayor longevidad y un rendimiento estable a lo largo de su vida.

### **CONFIGURACIÓN EN CASCADA**

Las calderas PRESTIGE pueden ofrecer soluciones de rendimiento ideal en función de diversas exigencias. Están concebidas para funcionar en cascada térmica permitiendo una modulación continua de potencia entre el 25% de la potencia mínima y el 100% de la potencia máxima instalada. Estos sistemas son fácilmente instalables gracias a los kits hidráulicos de cascada de ACV. Particularmente indicados para instalaciones medianas y grandes.

## **4. BUENAS RAZONES PARA ELEGIR UNA INSTALACIÓN EN CASCADA**

### **1.-MÓDULO Y MODULACIÓN**

Una instalación de calderas en cascada permite obtener una adaptación gradual y extremadamente precisa de la potencia, en función de la demanda de calor, obteniendo una óptima eficiencia y un confort más elevado.

### **2.-RENDIMIENTO ELEVADÍSIMO Y LARGA DURACIÓN**

La instalación en cascada trabaja siempre de modo optimizado, con calderas que operan con carga parcial, garantizando el máximo rendimiento y un menor desgaste de los componentes, a la vez que una vida prolongada.

### **3.-CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO**

Un sistema de instalación de calderas en cascada asegura un servicio permanente en caso de una anomalía en alguna de las calderas y facilita las operaciones de mantenimiento, que pueden ser realizadas incluso con la instalación en funcionamiento.

### **4.-ESPACIO REDUCIDO**

La instalación está realizada con calderas murales compactas y ligeras, por lo que los espacios ocupados son mínimos con la posibilidad de instalar grandes potencias en espacios reducidos.