



**FILTRACIÓN DE AIRE  
EN SISTEMAS CVAR**

**EDITA****ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y DE LA REFRIGERACIÓN - ACAIRE**

Calle 70 No. 12-85 Bogotá D.C., Colombia  
Teléfonos: (057-1) 3131468 / 3455372 / 3455375  
Fax: (057-1) 2489223  
Correos: [acaire@acaire.org](mailto:acaire@acaire.org)  
[acairecolombia@etb.net.co](mailto:acairecolombia@etb.net.co)  
[www.acaire.org](http://www.acaire.org)

**Miembros Junta de Dirección General ACAIRE 2008 - 2009**

*Fabio Clavijo, TECNAIRE LTDA. - Presidente,*  
*Giovanni Barletta, EMERSON ELECTRIC DE COLOMBIA - Vicepresidente*  
*Andrés Velásquez, ISLATECH LTDA.*  
*Camilo Botero*  
*Mauricio Gleiser*  
*Silvio Toro*  
*Yohanna Alzamora, SERVIPARAMO S.A.*  
*José Arias, REFRI - AUTO LTDA.*  
*Laura Millán, DANFOSS S.A.*  
*Luis Gay Salvino*  
*Luis Fernando Espinosa, ESPINOSA INGENIERÍA*  
*Mauricio Baena, THERMAL ENGINEERING LTDA.*  
*Rodrigo Vásquez, COMERCIAL Y SERVICIOS LARCO CSL S.A*  
*Rómulo Niño, UIS*

Claudia Sánchez Méndez - Directora Ejecutiva

## **PRÓLOGO**

Los documentos Buenas Prácticas de Ingeniería ACAIRE responden a la necesidad de la Asociación y del sector de contar con guías y recomendaciones, aplicables a nuestro medio y en un lenguaje técnico sencillo, sobre temas específicos de la actividad de Calefacción, Ventilación, Aire Acondicionado y Refrigeración – CVAR, que hoy en día son de práctica regular a nivel mundial.

Este esfuerzo es el resultado de la gestión y compromiso de la Junta de Dirección General de ACAIRE 2008 – 2009 y, de manera especial, del Comité de Normalización, cuyos miembros han dedicado su valioso tiempo a las múltiples revisiones y correcciones que ha generado el proceso. A ellos nuestro más profundo agradecimiento.

Este documento fue desarrollado con base en directrices formuladas por la JDG de ACAIRE, supervisado por el Comité de Normalización y con el valioso aporte investigativo y de recopilación de la estudiante Sandra Milena Cabuya Reyes, de la Institución Universitaria Los Libertadores de Bogotá, a lo largo del primer semestre de 2008.

Invitamos a los lectores a que evalúen los documentos, los apliquen y apoyen esta gestión con sus comentarios y observaciones.

## **LIMITACIONES**

El contenido de los documentos no compromete a ACAIRE y su interpretación debe ser entendida como un esfuerzo para ofrecer criterios técnicos que mejoren el desempeño de los profesionales del sector.

Con la aplicación regular de estos derroteros en el trabajo de campo, se pretende beneficiar la calidad de las instalaciones, incrementar la vida útil de los equipos, optimizar los diseños y aportar conocimiento en la práctica general de la actividad profesional de CVAR por parte de técnicos e ingenieros especializados.

Por la aplicación del documento, ACAIRE no podrá ser sujeto de procesos legales o impugnaciones que atenten contra ella, sus directivos o autores.

El documento no puede ser reproducido para fines comerciales. En caso de utilización para fines académicos, se debe incluir el crédito de ACAIRE.

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINAS</b>
PROPÓSITO	7
1. FILTRACIÓN	7
2.1 DEFINICIÓN	7
2.2 CONTAMINANTES DEL AIRE	7
2.2.1 PARTÍCULAS.	8
2.2.1.1 CARACTERÍSTICAS.	8
2.2.1.2 RANGOS DE TAMAÑO.	8
2.2.2 GASES Y VAPORES.	9
2.2.2.1 AEROSOLES.	10
2.2.3 PARTÍCULAS SUSPENDIDAS.	11
2.2 MECANISMOS DE FILTRACIÓN	12
2.3.1 POR PRENSADO.	13
2.3.2 INERCIAL.	14
2.3.4 EFECTO DIFUSIONAL.	15
2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS FILTROS	15
2.4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS FILTROS SEGÚN SU EFICIENCIA	17
2.4.1.1 FILTROS DE BAJA EFICIENCIA.	17
2.4.1.2 FILTROS DE MEDIA EFICIENCIA.	17
2.4.1.3 FILTROS DE ALTA EFICIENCIA.	17

---

2.5 TIPOS DE FILTROS DE AIRE	17
2.5.1 FILTROS DE AIRE MECÁNICOS.	17
2.5.1.1 FILTROS TIPO PANEL.	18
2.5.1.2 FILTROS DE SUPERFICIE EXTENDIDA.	20
2.5.1.3 FACTORES A TENER EN CUENTA EN LA SELECCIÓN DE FILTROS DE AIRE PARA PARTÍCULAS SUSPENDIDAS.	21
2.5.2 FILTROS O LIMPIADORES DE AIRE ELECTRÓNICOS.	22
2.5.3 FILTROS TIPO HEPA Y ULPA.	23
2.5.3.1 PRUEBAS PARA FILTROS HEPA Y ULPA.	24
2.5.3.2 APLICACIONES.	25
2.5.4 PRUEBAS REALIZADAS A LOS FILTROS	28
2.5.4.1 RESISTENCIA AL FUEGO.	28
2.5.4.2 MÉTODO DE PRUEBA DE ASHRAE PARA FILTROS	28
2.5.4.2.1 PRUEBA DE DESEMPEÑO DE LOS FILTROS.	28
2.5.4.2.2 PRUEBAS DE FILTROS VS COMPORTAMIENTO REAL DEL FILTRO.	30
2.6 FACTORES INFLUYENTES EN EL DESEMPEÑO DE UN FILTRO DE AIRE	31
2.6.1 EFICIENCIA.	32
2.6.1.1 MÉTODOS PARA CALCULAR LA EFICIENCIA DE UN FILTRO DE AIRE.	32
2.6.1.1.1 MÉTODO DEL PESO.	34
2.6.1.1.2 MÉTODO DE LA MANCHA DE POLVO.	34
2.6.1.1.3 MÉTODO DE PENETRACIÓN DOP.	35

---

2.6.1.1.4 MÉTODO DE LA EFICIENCIA POR TAMAÑO DE PARTÍCULAS.	36
2.6.1.1.5 MÉTODO CON FLUJO INTERMITENTE.	37
2.6.1.1.6 MÉTODO DE FLUJO CONSTANTE.	37
2.6.2 RETENCIÓN.	38
2.6.3 CERTIFICACIÓN DE LOS FILTROS.	38
2.6.3.1 INFORMACIÓN DISPONIBLE EN LAS HOJAS PARA RESUMEN DE PRUEBAS DE FILTROS ASHRAE	38
2.7 PROCEDIMIENTO PARA MEDIR LA EFICIENCIA DE UN FILTRO DE AIRE	40
2.7.1 ESTIMACIONES DE DISEÑO PARA SELECCIÓN DE FILTROS DE AIRE.	40
3. NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS	44
3.1 NORMAS NACIONALES	44
4. GLOSARIO	45
5. REFERENCIAS	47
ANEXOS	50
LISTA DE TABLAS	54
LISTA DE FIGURAS	55





## PROPÓSITO

El propósito de este documento es dar a conocer los métodos de prueba utilizados para evaluar el funcionamiento y eficiencia de los dispositivos de filtración de aire en los sistemas CVAR, y su capacidad para remover, retener o cambiar las condiciones físico-químicas de material particulado contenido en el aire.

### 1. FILTRACIÓN

#### 2.1 DEFINICIÓN

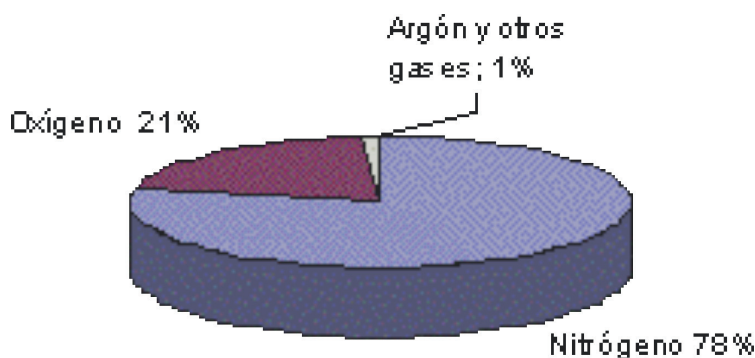
En sistemas de ventilación y aire acondicionado, el término filtración se define como la reducción o disminución del contenido de partículas sólidas o contaminantes químicos indeseables contenidos en el aire, lo que se logra mediante el paso forzado de aire a través de un medio o elemento filtrante.<sup>1</sup>

#### 2.2 CONTAMINANTES DEL AIRE

El aire es una mezcla de gases compuesta de aproximadamente 21% de oxígeno (O), 78% de nitrógeno (N<sub>2</sub>), 1% de argón (Ar) y rastros de otros gases. Incluye además material particulado y contaminantes químicos generados por la naturaleza, por el hombre y por los procesos industriales.

Se deben hacer grandes esfuerzos por parte de los ingenieros de CVAR para mejorar la calidad del aire que respiramos, y en esta tarea, es necesario realizar un trabajo cuidadoso que minimice efectivamente los efectos nocivos de ciertos ambientes sobre la salud y bienestar de sus ocupantes.<sup>2</sup>

Figura 1. Composición del aire



Fuente: Nafa Guide To Air Filtration

<sup>1</sup> Texto traducido y adaptado de Nafa Guide for Air Filtration y [www.solomantenimiento.com](http://www.solomantenimiento.com)

<sup>2</sup> Texto traducido y adaptado de Nafa Guide to Air Filtration

Los elementos catalogados como contaminantes del aire son de muy diverso y variado origen. Generalmente se identifican tres (3) tipos de contaminantes básicos: partículas, gases y vapores. Exploremos sus propiedades y características.

### 2.2.1 PARTÍCULAS.

Una partícula es una pequeña fracción de materia sólida o líquida dispersa en el aire. Dependiendo de su forma, tamaño, densidad, velocidad y tiempo de circulación, pueden asentarse lentamente en alguna superficie o permanecer suspendidas en la atmósfera debido a su masa tan pequeña, por períodos indefinidos sin dirección definida. El 98% de las partículas son de tamaño inferior a un (1) micrón (1 milésima de milímetro). Estas partículas no son visibles al ojo humano, pues la partícula de menor tamaño que se puede distinguir directamente oscila entre los 30 y 40 micrones.

#### 2.2.1.1 CARACTERÍSTICAS.

Las características específicas de las partículas a eliminar están asociadas con las particularidades del ambiente en cuestión, por lo que la solución propuesta deberá enfocarse a eliminar tales particulados del aire mediante procesos o tecnologías adecuadas para cada caso. Por ejemplo, las partículas de naturaleza aceitosa con superficies irregulares o electrostáticamente cargadas, tienden a aglomerarse más fácilmente.

#### 2.2.1.2 RANGOS DE TAMAÑO.

Los diámetros de las partículas varían desde tamaños moleculares que oscilan entre 500 micrones de diámetro hasta 5.000 micrones, pudiéndose encontrar concentraciones tan elevadas como, por ejemplo, 915 miligramos por metro cúbico. En las aplicaciones de acondicionamiento de aire se retienen partículas de diámetro entre 0.1 micrones hasta 200 micrones.

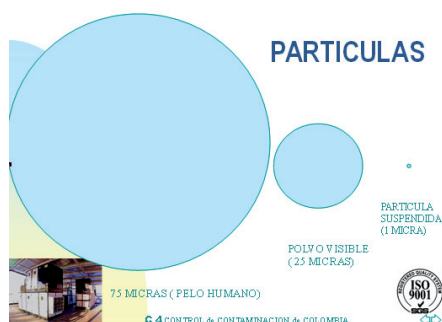


Figura 2. Tamaño de partículas.

Fuente: Cortesía C4 Control de Contaminación Ltda.

### 2.2.2 GASES Y VAPORES.

Un gas es cualquier material que tiene la tendencia de expandirse indefinidamente, ocupando total y uniformemente el recipiente que lo contiene, ya que existe como molécula y no tiene ni forma ni volumen definido. Los vapores son gases formados por la evaporación de materiales que normalmente están en estado líquido o sólido. La suspensión de éstos en la atmósfera, depende de su composición química y de la concentración local del contaminante.<sup>3</sup>

Este tipo de contaminantes pueden ser eliminados por diversos métodos. Entre los más utilizados se encuentran:

- **Absorción:** Es el mecanismo en el que se utilizan elementos líquidos o sólidos que absorben<sup>4</sup> ciertos componentes del aire como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el monóxido de carbono (CO) con lo cual se logra restituir el oxígeno al espacio acondicionado. Los gases contaminantes se absorben cuando la presión parcial del gas en el aire es mayor que la presión del vapor de la solución. Es recomendable utilizar limpiadores de aire, ya que éstos controlan la temperatura y humedad dentro de las edificaciones.
- **Adsorción:** Son sólidos con grandes áreas superficiales porosas expuestas al gas que se desea adsorber<sup>5</sup>. El carbón activo es el adsorbente más utilizado por ser el más efectivo con gases que tienen alta masa molecular y el menos efectivo con gases ligeros como el amoníaco y el etileno.
- **Quimio-adsorción:** La adhesión<sup>6</sup> de las sustancias a la superficie quimio-adsorbente no es un fenómeno físico sino una reacción química, razón por la cual solo ciertos compuestos contaminantes reaccionan con determinados quimio-adsorbentes. Este proceso mejora cuando no aumenta la temperatura o cuando no genera calor.
- **Catálisis:** Es una transformación química motivada por sustancias que no se alteran en el curso de la reacción<sup>7</sup>. Debido a que los catalizadores no se consumen cuando se producen las reacciones químicas, este método de purificación tiene una vida útil mucho mayor que los descritos anteriormente. Las reacciones químicas pueden producir la disociación del contaminante o la combinación del gas contaminante con el oxígeno disponible en el flujo de aire. La combustión catalítica permite la quema de gases indeseables a temperaturas más bajas que con la combustión simple. Por esta razón se utiliza en los escapes de los automóviles para garantizar calidad del aire exterior. Para este proceso, se recomienda el enmascaramiento o la neutralización de los olores.

<sup>3</sup> Texto traducido y adaptado de Nafa Guide to Air Filtration. <sup>7</sup> Definición tomada del diccionario de la lengua española.

<sup>4</sup> Ver definición en el glosario.

<sup>5</sup> Ver definición en el glosario.

<sup>6</sup> Ver definición en el glosario.

### 2.2.2.1 AEROSOLES.

Un aerosol es una suspensión de partículas sólidas o líquidas en el aire. El tamaño de un aerosol es usualmente medido en micrones, también denominados micrómetros.

Pueden encontrarse diversos tipos de aerosoles, dependiendo de su fuente de generación:

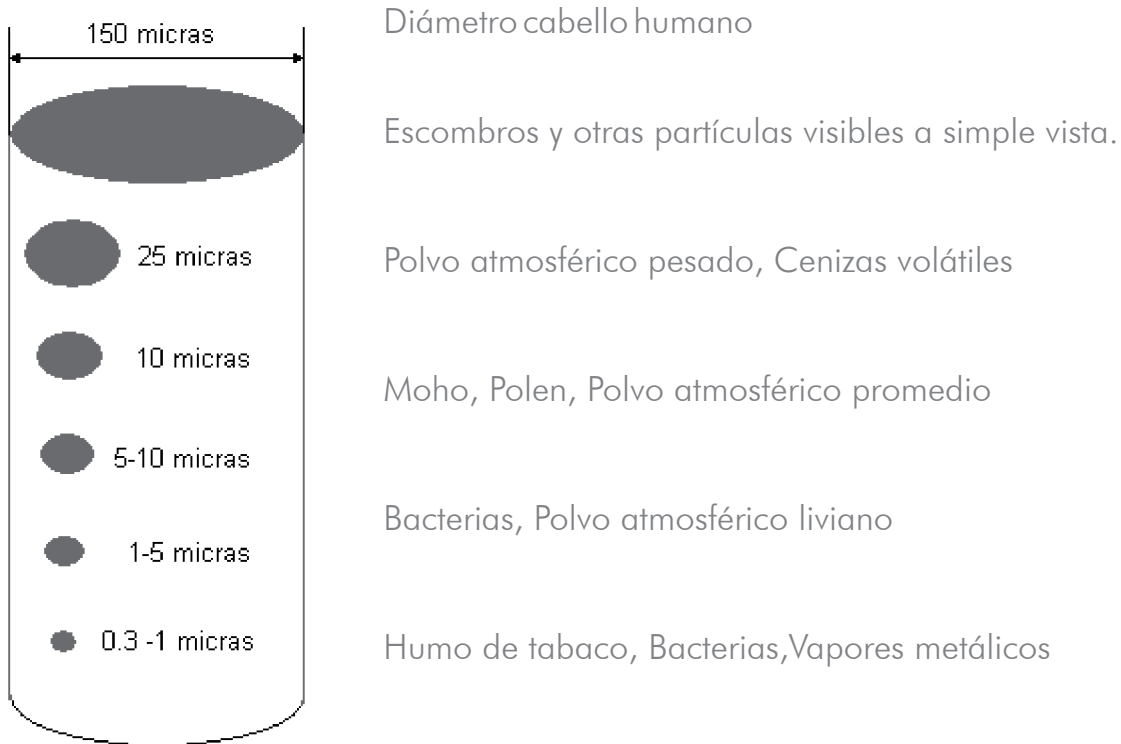
- **Polvos:** Son aerosoles sólidos generados al reducir grandes materiales (rocas) hasta su pulverización. Tal es el caso de la erosión por acción del viento. Esos están formados por partículas menores de 100. Por ejemplo, una erupción volcánica, la cual descarga toneladas de polvo fino de lava en el aire.
- **Humos:** Son aerosoles sólidos formados por la condensación de vapores de materiales sólidos. Muchas partículas pequeñas de humo tienen la tendencia a aglomerarse formando grandes partículas. Tienen dos fuentes principales de generación:
- Provenientes de combustiones incompletas de sustancias orgánicas (carbón, petróleo, etc.).
- Provenientes de la sublimación y oxidación de metales fundidos.
- **Nieblas:** Son aerosoles líquidos formados por la condensación de vapor de agua en el aire.
- **Rocíos:** Son aerosoles líquidos formados por la atomización de líquidos a ciertas presiones y temperaturas por vía de atomización, mezcla y pulverización.

De acuerdo con el manual ASHRAE (ASHRAE Handbook), las partículas de polvo aerotransportado menores a 0.1 micrones se comportan como gases y no tienen ningún índice de caída vertical, pero son afectadas por el movimiento browniano<sup>8</sup>. Aquellas en el rango de 0.1 hasta 1 micrón tienen velocidades de asentamiento muy bajas y en la práctica son consideradas casi nulas, mientras que aquellas en el rango de 1.0 a 10 micrones tienen índices de asentamiento constante y apreciable, pero están sujetas a la acción de las corrientes de aire que las pueden mantener en suspensión en el aire. Las partículas de tamaños mayores a 10 micrones se asientan normalmente en alguna superficie a través del tiempo.

---

<sup>8</sup> Texto traducido y adaptado de Nafa Guide to Air Filtration.

**Figura 3.** Tamaño de un micrón con relación a la dimensión del tamaño de un cabello humano y ciertas partículas pequeñas.



Fuente: [NAFA Guide To Air Filtration.](#)

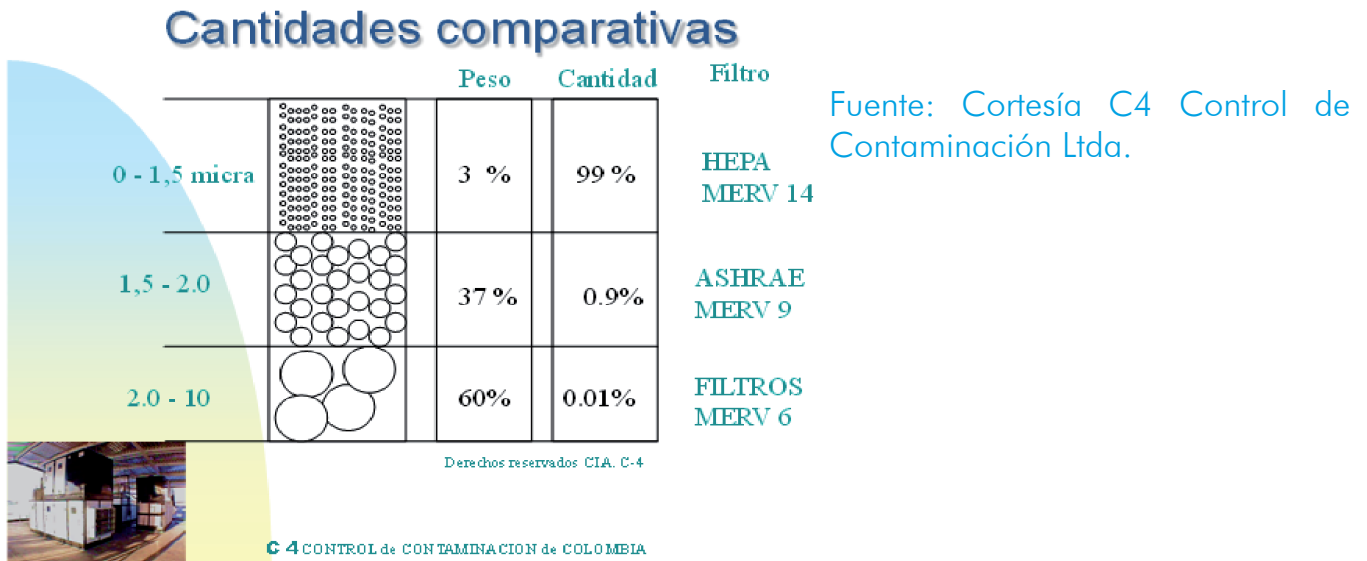
### 2.2.3 PARTÍCULAS SUSPENDIDAS.

Es el principal contaminante del aire y está compuesto por una mezcla compleja de materia orgánica, esporas (10  $\mu\text{m}$  a 30 $\mu\text{m}$ ), virus (0.005 a 0.5 $\mu\text{m}$ ), bacterias (0.4 a 12 $\mu\text{m}$ ), fibras, humos, polvo, partículas metálicas, vapores y niebla. Estos componentes pueden entrar a los sistemas de ventilación y aire acondicionado desde el exterior o pueden ser producidos desde el interior.

La facilidad y eficacia con que pueden ser eliminados del ambiente a acondicionar, depende del tamaño, forma, peso específico, concentración y características de superficie de cada una de las partículas presentes en el mismo.

La siguiente figura muestra la cantidad de partículas suspendidas en el aire según su tamaño e indica el peso de esta cantidad presente en el ambiente. Además se encuentra el tipo de filtro a utilizar para retener dichas partículas.

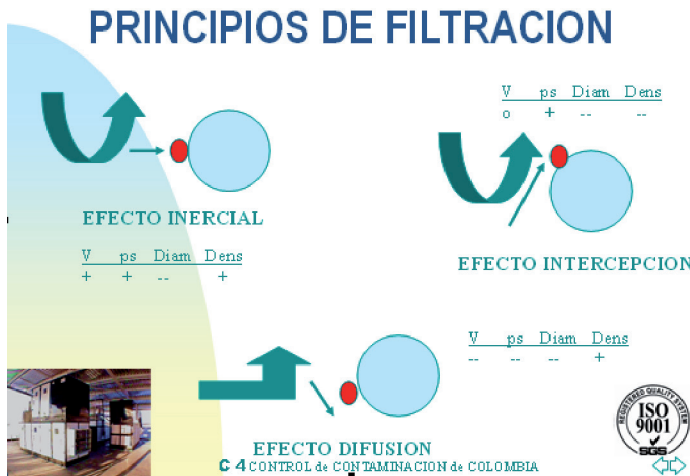
Figura 4. Partículas suspendidas según su tamaño.



## 2.2 MECANISMOS DE FILTRACIÓN

La figura 5 muestra los tres principales efectos físicos de filtración. En cada uno de éstos, se evalúa el tamaño de las partículas, el diámetro de la fibra de un filtro, la densidad de las fibras, y la velocidad del aire. El signo “+” denota un factor que favorece este efecto, el signo “-” significa que el factor desfavorece el efecto y el signo “o” significa que el factor es independiente del efecto.

Figura 5. Principios de filtración.



Fuente: Cortesía C4 Control de Contaminación Ltda.

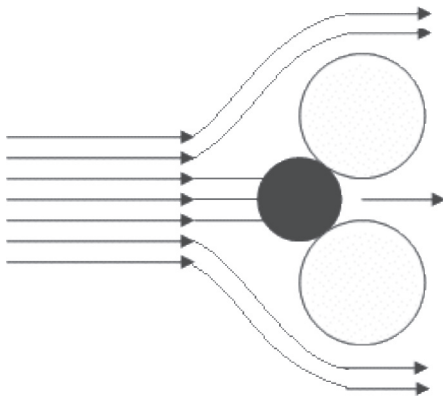
Existen cuatro (4) mecanismos de filtración de aire, a saber:

- Por prensado
- Por impacto
- Intercepción
- Efecto difusional

2.3.1 POR PRENSADO.

Ocurre cuando la dimensión más pequeña de una partícula de polvo es mayor que la distancia entre las fibras colindantes del medio filtrante. No es una influencia importante en la filtración, excepto en la remoción de materiales de largas fibras tales como pelusa.

Figura 6. Prensado



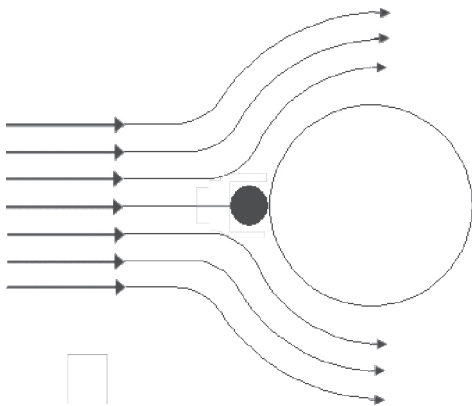
Los factores influyentes en este mecanismo de filtración son el tamaño y la densidad de las partículas y su probabilidad de colisión con el medio filtrante, además de la profundidad del filtro y la velocidad de paso del aire. Asimismo, se ve afectado por el flujo de aire a través del filtro y las vibraciones y/o golpes.

Fuente: NAFA Guide To Air Filtration.

### 2.3.2 INERCIAL.

Es el mecanismo por el cual las partículas de gran tamaño (comprendidas entre 5 y 15 micrones) son capturadas. Como el aire cargado de polvo pasa por el medio filtrante, el aire tiende a pasar alrededor de las fibras del filtro. Debido a la inercia, las partículas de polvo no siguen las líneas aerodinámicas del aire alrededor de las fibras. En lugar de ello, éstas se desplazan en línea recta hasta chocar con las fibras del filtro, quedando adheridas a ellas.

Figura 7. Impacto.



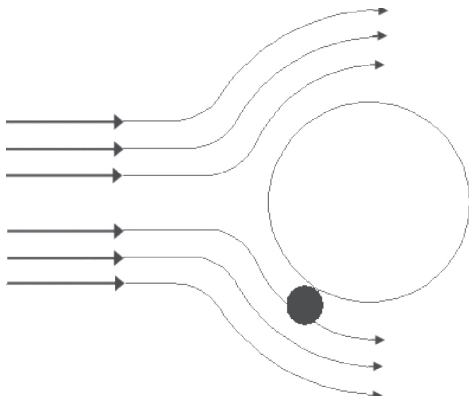
### 2.3.3 INTERCEPTACIÓN.

Ocurre cuando una partícula de polvo (comprendida entre 0,001 y 5 micrones) sigue las líneas aerodinámicas del aire, pero aún viajando para hacer contacto con las fibras, éstas pasan alrededor de estas líneas. Si las fuerzas de atracción entre la fibra y la partícula de polvo son más fuertes que la tendencia del flujo de aire a desalojarlas, la partícula será removida de la corriente de aire.

Fuente: NAFA Guide To Air Filtration.



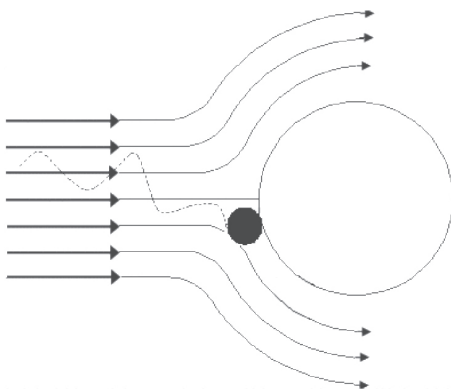
Figura 8. Interceptación



En este mecanismo influyen las fuerzas de Van Der Waals, el momento dipolar y la atracción electrostática<sup>9</sup>. Las variables que intervienen son: el tamaño de las partículas, el diámetro de la fibra, distancia entre las fibras, profundidad del filtro y la velocidad a través del filtro.

Fuente: NAFA Guide To Air Filtration.

#### 2.3.4 EFECTO DIFUSIONAL.



Explica la captura de partículas muy pequeñas (tamaño inferior a un micrón). El aire cargado de partículas consideradas diminutas al pasar por el medio filtrante no adquiere la trayectoria de las corrientes aerodinámicas del aire. En lugar de ello, son bombardeadas por moléculas de aire (gas), las cuales causan que éstas tomen una trayectoria errática descrita como movimiento browniano. Esta trayectoria errática aumenta la probabilidad de que las partículas entren en contacto con las fibras y permanezcan unidas a ellas, es decir, sean capturadas.

Figura 9. Efecto difusional.

Fuente: NAFA Guide To Air Filtration

## 2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS FILTROS

Los filtros se clasifican en función de tres (3) parámetros básicos establecidos, a saber:

<sup>9</sup> Ver definiciones en el glosario.

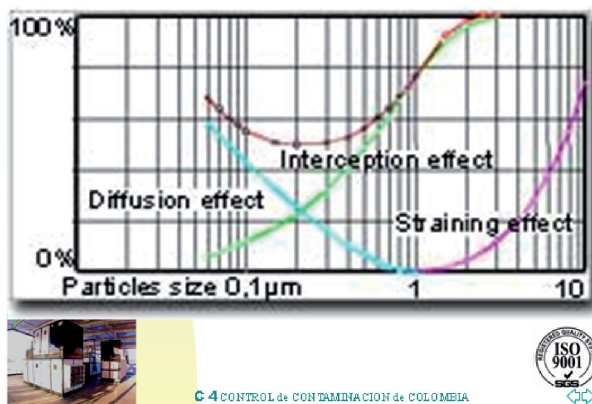
1. Eficiencia de filtración: Definida como la relación entre la cantidad de partículas sólidas captadas por el medio filtrante y la cantidad de las mismas presentes en el aire antes del filtro, mide la capacidad para remover material particulado del flujo de aire (interceptabilidad).

2. Resistencia al flujo de aire: Definida como la diferencia de presión antes y después del filtro, es la propiedad que tiene el medio filtrante (filtro limpio) de resistir el flujo de aire que pasa a través de él.

3. Capacidad de retención de polvo: Se define como la capacidad máxima del medio filtrante de retener las partículas de polvo del flujo de aire que pasa a través del mismo<sup>10</sup>, antes de su sustitución o limpieza o desde el comienzo hasta el final de la prueba.

La figura 10 muestra la capacidad de filtración de los tres principales efectos de filtración, (difusión, interceptación e inercial).

Figura 10. Capacidad de filtración.



También se clasifican de acuerdo a otros factores\*\*, siendo los principales:

Fuente: Cortesía C4 Control de Contaminación Ltda.

- Material de fabricación: Pueden ser fabricados con una amplia gama de materiales, en función del uso al cual van a ser destinados.

- Propiedades de filtrado: Es una característica muy importante en los filtros, ya que determina el tamaño máximo de partículas que el medio filtrante deja pasar por cada uno de sus poros.

- Caudal de filtrado: Cada filtro posee en función de su porosidad y superficie, un caudal máximo de filtrado por encima del cual el elemento filtrante impide el paso de forma significativa del fluido a filtrar.

- Forma: Los filtros pueden ser planos, redondos, de manga, de cartucho, de bolsa, de carbón activo, etc.

<sup>10</sup> Definiciones tomadas del texto "Manual de aire acondicionado".Carrier.

\*\* Tomados de la pagina web [www.solomantenimiento.com](http://www.solomantenimiento.com)

## 2.4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS FILTROS SEGÚN SU EFICIENCIA

### 2.4.1.1 FILTROS DE BAJA EFICIENCIA.

Normalmente evaluados según la norma ASHRAE 52.1 por su “arrestancia” y ocupan eficiencias MERV 1,2,3 y 4 con eficiencias máximas de 20% sobre partículas entre 3 y 10 micras, usados principalmente como pre-filtros y filtros para polvo en aplicaciones de uso general.”

### 2.4.1.2 FILTROS DE MEDIA EFICIENCIA.

Un filtro de eficiencia media es aquel que tiene la capacidad de retener partículas en un rango de cuarenta (40) a un (1) micrón.

### 2.4.1.3 FILTROS DE ALTA EFICIENCIA.

Son aquellos con eficiencias probadas por el método DOP específicamente probados para eficiencias sobre las partículas mas difíciles de filtrar que son las de 0,3 micras, las eficiencias de estos filtros son reportadas como eficiencias DOP y se usan especialmente para procesos en los que se requiera seguridad frente a partículas inferiores a 1 micrón, de mucha utilidad en procesos biológicos con agentes de riesgo biológico y para procesos altamente críticos donde las mínimas partículas pueden ser consideradas como contaminación.

## 2.5 TIPOS DE FILTROS DE AIRE

Existen dos tipos de filtros de aire:

- Filtros mecánicos
- Filtros o limpiadores de aire electrónicos.

### 2.5.1 FILTROS DE AIRE MECÁNICOS.

Los filtros de aire mecánicos remueven el polvo capturándolo en los medios del filtro. Esta

captura envuelve dos consideraciones diferentes. La primera es la probabilidad de que una partícula de polvo choque con una de las fibras\*\*\* que constituyen el medio del filtro. La segunda es la probabilidad de que la partícula, una vez que entra en contacto con la fibra del filtro, continúe adhiriéndose a éste.

Este tipo de filtros incluyen los tres (3) primeros mecanismos de filtración y pueden clasificarse en dos categorías: filtros tipo panel y filtros de superficie extendida.

#### 2.5.1.1 FILTROS TIPO PANEL.

Los filtros tipo panel son filtros de aire de medios fijos en los cuales la velocidad de cara y la velocidad sobre el medio filtrante son esencialmente iguales. Pueden ser fabricados empleando diferentes materiales como: metal, fibra de vidrio o fibras naturales. Algunos son desechables y otros son lavables. El principal mecanismo de captura de este tipo de filtros es el impacto por inercia y se caracterizan por una velocidad media del aire al atravesar el medio filtrante y por una baja caída de presión. Entre esta clase de filtro se encuentran:

**Filtros secos.** Es la variedad más importante por la diversidad de materiales utilizados y por los rendimientos que se obtienen. Son más eficientes que los viscosos para la eliminación de partículas cuyo diámetro sea menor que un (1) micrón. Están formados ordinariamente por un bastidor permanente y un medio seco reemplazable de celulosa, amianto o fibra de vidrio, papel sometido a un tratamiento especial, algodón, fieltro de lana o material sintético. El medio filtrante es más tupido que en el de filtro viscoso.

La eficiencia de un filtro seco depende del tamaño y de la separación de las fibras. Si son pequeñas y están densamente distribuidas, se obtienen mayores eficiencias, pero éstas suelen ir acompañadas por alta resistencia al flujo y baja capacidad de retención de polvo. Estos filtros son especiales para la eliminación de virus y bacterias.

Se encuentran diversas clases de filtros secos y los más utilizados son:

- Colchón textil: está constituido por fibras sintéticas compactadas desordenadamente y aglomeradas por un aglutinante. Se pueden obtener eficiencias muy variadas según la textura y el grueso del mismo.
- Materiales textiles: este tipo de filtro usa fibras textiles tejidas (lana, algodón o fibras

---

\*\*\* Para efectos de este documento la palabra "fibras" se utiliza en el sentido más amplio de cubrir cualquier componente del medio del filtro.

sintéticas). Tienen buen rendimiento pero presentan el inconveniente de obstruirse muy pronto.

- Material plástico: rígidos ondulados y perforados.
- Filtros de papel: se preparan con papeles especiales compuestos de fibras minerales o naturales. No son regenerables.
- Filtros de fibra de vidrio: son aquellos en los que el medio filtrante está construido de una base de filamento de fibra de vidrio continuo, unido por una resina térmica cuya densidad es más concentrada hacia la salida del aire. Sirve para la fabricación de células filtrantes no regenerativas en dimensiones normalizadas. Esta fibra generalmente está impregnada con adhesivos para incrementar su retención. Pueden tener marcos de cartón o un portamarco metálico y son desechables. Sus beneficios más destacables radican en su baja resistencia al aire y su economía. Son utilizados en cabinas de pintura, tiendas, fábricas y algunas veces como prefiltros.
- Filtros metálicos: están constituidos por una o varias capas de mallas metálicas tejidas en bucles o por hojas metálicas recortadas, estiradas y superpuestas (acero estañado, galvanizado y aluminio) y una capa de poliéster o poroflex. Estos filtros son lavables, diseñados para alta velocidad y baja resistencia y pueden regenerarse con facilidad sin sufrir deterioro. Se utilizan generalmente en sistemas de aire acondicionado, cocinas, campanas de extracción, lavadoras de aire y como prefiltro.

**Filtros viscosos.** Estos filtros eliminan eficientemente las partículas contaminantes cuyo diámetro es mayor de 10 micrones, especialmente si son partículas grasientas. Son muy adecuados para tamaños de partículas y concentraciones grandes y se utilizan para alta velocidad de filtración. Se utiliza un medio filtrante de textura relativamente rugosa y construida con fibra, tamiz, tela de alambre, placas o estampaciones mecánicas. Las partículas más grandes son las que primero se eliminan, prolongando así la vida del filtro. Los medios filtrantes que se emplean con velocidades de filtraje de 90 mts/min. (300 pies/min.), aumentan ordinariamente la densidad de filtrado en la dirección de la corriente de aire. Los filtros de alta velocidad funcionan con velocidades del aire de 150mts/ min. (500 pies/min.) y no son direccionales ni de densidad uniforme.

- Filtros para grasa: estos filtros son instalados en las campanas de cocina para prevenir el acumulamiento de grasa en los conductos de extracción y reducir de esta manera, algún posible riesgo de incendio. Todos los filtros utilizados para este servicio están contruidos de metal y no son efectivos para el humo.

#### 2.5.1.2 FILTROS DE SUPERFICIE EXTENDIDA.

Estos filtros presentan baja caída de presión estática y baja velocidad. Además poseen como característica particular que el área de su medio filtrante es mayor que el área del filtro. Dentro de estos filtros se encuentran:

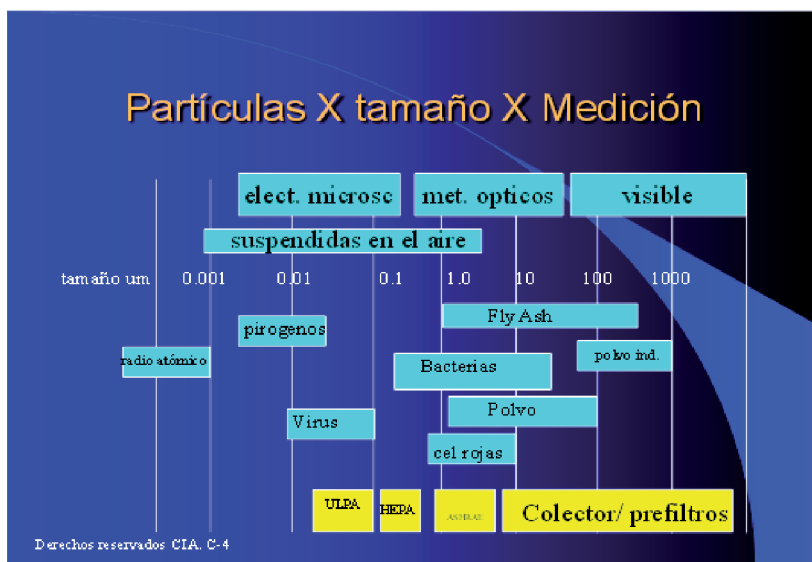
- Filtros de bolsa o de talego: Son filtros de superficie extendida de alta eficiencia. Su medio filtrante puede ser de fibra de vidrio ultra fina o de fibra sintética. Dicho medio filtrante viene en varios colores según su eficiencia. El filtro está compuesto por bolsas individuales, cuyo número varía según sus especificaciones. Cada una de estas bolsas se subdivide a su vez en secciones tubulares. La subdivisión está formada por costuras internas que deben ser selladas con una resina termoplástica para evitar el desvío de aire y alargar su vida útil. Estos filtros se utilizan principalmente en sistemas de aire acondicionado de hospitales, salas de ordenadores, equipos electrónicos y en la industria alimenticia y automotriz.
- Filtros de panel rizado: también llamado filtro de pliegues. Estos filtros de eficiencia media están fabricados con un laminado de fibra sintética de algodón y poliéster en una configuración de pliegues radiales con soporte de malla anticorrosivo. La gran cantidad de medio filtrante y superficie de filtración, permite una excelente capacidad de retención de polvo, además de asegurar un buen flujo de aire, manteniendo baja resistencia al mismo. Además, tienen una mayor vida útil que otros filtros planos. Son utilizados en unidades de aire acondicionado, equipos de computadores, embotelladoras, fábricas, cabinas de pintura, hospitales, centrales telefónicas y prefiltros para filtros secundarios.
- Filtros absolutos HEPA, ULPA Y SULPA: los filtros absolutos HEPA (High Efficiency Particulate Air) son filtros de superficie extendida desechables con un marco rígido, de eficiencia mínima del 99,97% para partículas de 0,3 micrones. El filtro está contruido con fibra de vidrio ultra fina, plegada y separada entre sí por separadores que generalmente son de aluminio. Fueron desarrollados para aplicaciones militares y son también utilizados en quirófanos y laboratorios. Posteriormente estos filtros han sido mejorados, obteniéndose

una eficiencia de 99,999% DOP en los filtros denominados ULPA (Ultra Low Penetration Air) y de 99,9999% en los SULPA (Super Ultra Low Penetration Air). Estos filtros se utilizan en aplicaciones militares y en manufactura de microelectrónica.

### 2.5.1.3 FACTORES A TENER EN CUENTA EN LA SELECCIÓN DE FILTROS DE AIRE PARA PARTÍCULAS SUSPENDIDAS.

- Eficiencia: se debe considerar o consultar la eficiencia adecuada para el proceso, no siempre la mayor eficiencia es el mejor filtro, por ejemplo instalar un filtro ULPA donde no se requiere genera sobre costos, sobre presiones y menor vida útil. La eficiencia según el ASHRAE 52,1 y las eficiencias MERV según el ASHRAE 52.2 se deben consultar para colocar el reemplazo adecuado.
- Capacidad (dust holding): la capacidad de acumulación de polvo dada en gramos de polvo es muy importante pues define la capacidad del filtro en duración, este parámetro debe ser solicitado al proveedor
- Caídas de presión: las caídas de presión se deben analizar tanto la presión inicial como la presión final con los mismos caudales, de este dato depende cuanta energía vamos a gastar en mover el aire al inicio y cuanto rango de variación tenemos desde el inicio hasta el final de la vida útil del filtro. Este dato es importante asociarlo al dust holding.
- Capacidad de retención de polvo: hace referencia a la cantidad de contaminante que es capaz de retener el filtro al llegar al final de su vida útil. Cuanto mayor sea esta capacidad de retención, mayor será la duración del filtro y por tanto, menor el costo asociado al mismo.
- En la figura 11 se muestra la ubicación de los contaminantes más comunes según su tamaño teórico, los tipos de filtros usados para retenerlos y los métodos de detección o medición. Se denota la separación entre partículas suspendidas y las que no lo son, así como la ubicación teórica de los virus sin considerar los vehículos de transporte de estos. Se puede ver también que los filtros con eficiencias ASHRAE ocupan un lugar importante en los contaminantes entre 1 y 5 micras.

Figura 11. Distribución de las partículas.



Fuente: Cortesía C4 Control de Contaminación Ltda.

### 2.5.2 FILTROS O LIMPIADORES DE AIRE ELECTRÓNICOS.

Los limpiadores de aire electrónicos remueven partículas de una corriente de aire usando el principio de precipitación electrostática. El componente más importante de los limpiadores de aire electrónicos incluye una o más celdas de ionización y otra de celdas colectoras.

El paquete de energía de alto voltaje realiza dos funciones. Primero, transforma una fuente externa normalmente disponible de la corriente alterna (AC) en una corriente alterna de alto voltaje. En segundo lugar, convierte esta corriente alterna de alto voltaje en corriente directa. La electricidad convertida y transformada, (la que no es corriente directa de alto voltaje) se alimenta de la fuente de energía de la celda de ionización.

La celda colectoras de ionización puede ser provista como un solo componente unitario o como dos componentes separados. Al entrar el flujo de aire en la sección de ionización, las partículas aerotransportadas son cargadas electrostáticamente.

Cuando el flujo de aire deja el ionizador, entra en la sección del colector. Esta sección está compuesta por placas paralelas de metal planas. Las placas alternas son cargadas electro-



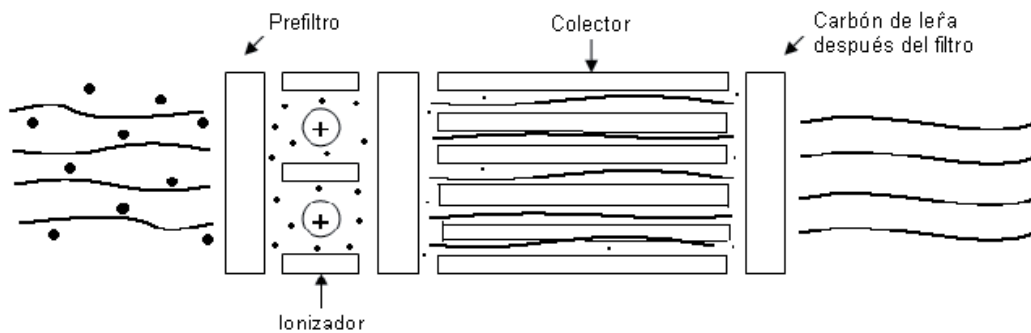
magnéticamente a alto voltaje, de tal manera que las partículas cargadas con el mismo signo de las placas son repelidas y simultáneamente atraídas por las placas de potencial opuesto hacia donde son atraídas y retenidas.

Los limpiadores de aire electrónicos pueden tener un sistema integral de agua/detergente que puede ser utilizado periódicamente para limpiar las placas y retirar las partículas recogidas.

Los filtros electrónicos pueden clasificarse en:

- Filtros electrónicos de ionización: las partículas contaminantes se ionizan al pasar el aire a través de un campo eléctrico.
- Filtros electrónicos electrostáticos: se componen de un filtro de panel con medio filtrante cargado electrostáticamente. Son necesarios de 12000 a 13000 voltios para cargar el medio dieléctrico.

Figura 12. Filtro electrónico



Fuente: NAFA Guide To Air Filtration.

### 2.5.3 FILTROS TIPO HEPA Y ULPA<sup>11</sup>.

Son filtros de aire de alta eficiencia. Desde los años sesenta, hay filtros disponibles con eficiencias superiores al tipo HEPA. El advenimiento de la microelectrónica y la necesidad de ambientes más limpios para la fabricación de microchips, creó la demanda de estos filtros.

<sup>11</sup> Definiciones tomadas y adaptadas de la revista Acaire Ed.15.1996

Basado en el método de prueba DOP, estos filtros tienen eficiencia de 99.999% y hoy son conocidos como ULPA (ultra low penetration air).

Muchos fabricantes de estos filtros garantizan una eficiencia del 99.999% en partículas de 0.12 micrones con la ayuda de un penetrómetro láser, dado que el probador DOP no aplica en estos filtros, porque no tiene la sensibilidad para medirlo con precisión.

Hay disponibles filtros con eficiencias más altas que la de los ULPA conocidos como SULPA (super ultra low penetration air) pero su uso es limitado. Tienen eficiencias del 99.9999% para partículas de 0.12 micrones.

#### 2.5.3.1 PRUEBAS PARA FILTROS HEPA Y ULPA.

Aplicaciones con limpiezas de aire críticas requieren de filtros HEPA y ULPA cuya alta eficiencia para particulados de diámetro inferior a 0.3 micrones es indispensable.

Los criterios requeridos para probar filtros HEPA son:

1. Debe generar un aerosol cuyo tamaño se determinó como el que más penetraba el medio de estos filtros. Este fue originalmente calculado como 0.3 micrones.
  2. Este aerosol debe ser mono dispersado, es decir, todas las partículas deben ser del mismo tamaño.
  3. Debe haber una forma de confirmar el tamaño de la partícula.
  4. Debe haber un medio de medir con precisión la concentración del aerosol antes y después del filtro sometido a prueba.
- Fuga Vs. Penetración. Desde las primeras etapas del desarrollo de los filtros, se reconoció que la penetración era debida no solamente a la naturaleza básica del papel filtrante, sino a los "agujeros" que a veces ocurren en el medio. Estos agujeros serían huecos microscópicos o grietas en el medio filtrante. Se determinó que mientras la penetración era esencialmente constante para un rango de velocidades normal, la penetración relativa debida a agujeros se incrementaba cuando la velocidad de prueba era reducida. Para evitar imprecisiones se decidió probar los diferentes medios filtrantes a dos diferentes

velocidades. Cuando los filtros HEPA se usan en aparatos de flujo laminar es importante que no haya fugas. Una manera de probar tales fugas es correr la prueba DOP al 100% y 20% de la capacidad especificada. Si la penetración es esencialmente la misma, no hay fugas.

- Contador de partículas. Estos aparatos son individuales para monitorear la concentración de polvos en cuartos limpios. Los primeros diseños usaron bulbos de luz incandescentes como su fuente de luz. El tamaño de partícula mas pequeña que puede ser detectado por este aparato tenia un diámetro de 0.3 micrones.

Este contador fue mejorado cuando se usaron los láseres en lugar de la luz incandescente. El rayo de luz de alta intensidad creado por el láser permitió la detección y conteo de partículas tan pequeñas como 0.07 micrones.

- Resistencia al fuego. La habilidad de los filtros HEPA o ULPA es la de mayor importancia para los usuarios. Se utilizan en instalaciones que pretenden proteger productos delicados de contaminación externa o para aislar un producto riesgoso.
- Resistencia al flujo de aire. Debe distinguirse la pérdida de carga de un filtro limpio de la pérdida de carga admisible en un filtro sucio.
- Capacidad de retención de polvo. Se define como la cantidad de polvo capaz de retener el medio filtrante antes de requerir cambio. Esta capacidad es variable independientemente de su eficiencia y se indica en unidades de masa con relación a la superficie expuesta al flujo de aire. Para el cálculo de esta capacidad se asume un valor límite permisible de la diferencia de presión a través del filtro. El peso total de polvo capturado al momento de alcanzar la diferencia de presión límite, corresponde a la capacidad total de retención de polvo del filtro.

### 2.5.3.2 APLICACIONES<sup>12</sup>.

La elección de un tipo particular de filtro de aire para una aplicación dada se realiza teniendo en cuenta ciertos parámetros, a saber:

1. Determinación del tamaño, concentración y características de los contaminantes presentes en el aire exterior y en el aire de retorno.

---

**12** Definiciones tomadas de "Conceptos sobre filtración". Ing. Enrique A. Meriño Visbal.

2. Decidir el tamaño de las partículas que deben ser eliminadas y el rendimiento necesario para ello.
3. Elección del filtro que proporcione el rendimiento deseado de manera económica en las condiciones prevalentes de costo de servicio, costos de energía y de horas anuales de funcionamiento.

Para la determinación de los contaminantes que deben ser suprimidos y su composición, se deben considerar los requisitos del proceso y las características del equipo, material u ocupantes del ambiente acondicionado.

La aplicación de los filtros de aire se puede dividir en 2 grandes especialidades:

1. Eliminar contaminación donde se produce.
2. Suministrar aire para requerimientos de limpieza determinados.

La aplicación puede variar desde filtros relativamente sencillos, utilizados para evitar la entrada de polvo y tierra hasta filtros de alta eficiencia conocidos como HEPA, ULPA y SULPA, capaces de eliminar ciertas partículas biológicas o radioactivas, usadas en la ventilación de ambiente de llenado de soluciones farmacéuticas inyectables, quirófanos estériles y reactores nucleares.

Con el desarrollo industrial, las aplicaciones de filtros de alta eficiencia son cada vez mayores. Tal es el caso de la industria farmacéutica y alimenticia, donde se pretende evitar la contaminación de los productos o alimentos con bacterias y hongos, o la filtración del aire de alimentación de las turbinas de gas para evitar el desgaste de los alabes y el deterioro consiguiente. Esta especialidad se ha dividido en varias clases o grados, dependiendo del número de partículas que el ambiente mantiene en suspensión, después de que el aire ha sido pasado por un sistema de filtración adecuado:

**Tabla 1.** Clases y grados con relación a las partículas en suspensión.

Clase	Grado	Partículas en suspensión 0.5 micrones	Partículas en suspensión 5.0 micrones
100	Grado A/B	3.500 / m <sup>3</sup> (100 / ft <sup>3</sup> )	0 / m <sup>3</sup> (0 / ft <sup>3</sup> )
10.000	Grado C	350.000 / m <sup>3</sup> (10.000 / ft <sup>3</sup> )	2.000 / m <sup>3</sup> (60 / ft <sup>3</sup> )
100.000	Grado D	3.500.000 / m <sup>3</sup> (100.000 / ft <sup>3</sup> )	20.000 / m <sup>3</sup> (600 / ft <sup>3</sup> )
1.000.000	N/A	35.000.000 / m <sup>3</sup> (1.000.000 / ft <sup>3</sup> )	200.000 / m <sup>3</sup> (6.000 / ft <sup>3</sup> )

Fuente. Conceptos sobre filtración. Ing Enrique A Meriño Visbal.

La clase está regida por la norma U. S. Federal Standard 209E y el grado está regido por la norma internacional G. M. P.

Esta clase o grado se complementa con los niveles de renovación por hora que se realicen en el volumen de aire de un recinto. Esta renovación corresponde a la cantidad de veces que el volumen de aire del recinto pasa por los filtros instalados. En la siguiente tabla, se encuentran los niveles de renovación de aire requeridas según cada clase o grado:

**Tabla 2.** Niveles de renovación por hora

Clase	Grado	Renovaciones por hora
100	Grado A/B	140-640
10.000	Grado C	40-60
100.000	Grado D	20-30
1.000.000	N/A	10-15

Fuente: Conceptos sobre filtración. Ing Enrique A Meriño Visbal.

Para lograr esta clase o grado, además de cumplir con la tasa de renovación del aire mencionada, se deberá filtrar el aire de una forma adecuada, teniendo en cuenta la siguiente tabla y el estándar ASHRAE (STD 52.2 de 1.999):

Tabla 3. Eficiencia de filtros

Clase	Grado	Eficiencia Prefiltro	Eficiencia Filtro	Eficiencia Pos-filtro
100	Grado A/B	95% (52.2-1999)	99.99% HEPA	99.9995% ULPA
10.000	Grado C	65% (52.2-1999)	95% (52.2-1999)	99.99% HEPA
100.000	Grado D	35% (52.2-1999)	65% (52.2-1999)	95% (52.2-1999)
1.000.000	N/A	70% (Arrestance)	35% (52.2-1999)	N/A

Fuente: Conceptos sobre filtración. Ing Enrique A Meriño Visbal

Es de gran importancia tener en cuenta que los filtros colocados para lograr la calidad ambiental adecuada, son de vida limitada. Es una buena práctica de ingeniería instalar en cada banco de filtros un manómetro de presión diferencial de aire con el objeto de registrar su estado y grado de saturación. Esta diferencia de presión, permite establecer el momento oportuno para cambiar el filtro cuando cumple su vida útil.

La presión diferencial máxima permitida en un filtro está directamente relacionada con el tipo de filtro y con la cantidad de aire que se hace pasar a través del mismo, por lo que no se puede normalizar el tiempo de uso o de vida útil, siendo la única forma de determinar su integridad por medio de un manómetro de presión diferencial.

#### 2.5.4 PRUEBAS REALIZADAS A LOS FILTROS

##### 2.5.4.1 RESISTENCIA AL FUEGO.

La flamabilidad de los filtros deberá ser reportada” y sería más exacto y amplio con los filtros de diferentes orígenes (Europa, USA, Asia)

##### 2.5.4.2 MÉTODO DE PRUEBA DE ASHRAE PARA FILTROS

###### 2.5.4.2.1 PRUEBA DE DESEMPEÑO DE LOS FILTROS.

El primer método normalizado para probar filtros fue desarrollado por ASHRAE (American Society Of Heating Refrigerating and Air Conditioning Enginners). Otros desarrollos posteriores fueron ejecutados por la NBS (Nacional Boureau of Standards) y la AFI (Air Filter Institute) realizó mejoras a los métodos anteriores.

Esta última asociación desarrolló un estándar basado en la investigación y mejoramiento del método de prueba de la mancha de polvo. Este estándar fue designado 52-68 denominado "método de prueba para dispositivos de limpieza de aire usados en ventilación general, para remover partículas".

La versión 52-76 introdujo dos (2) cambios fundamentales:

1. Definiendo la sección de ducto que sostiene el filtro bajo prueba, de tal manera que la caída de presión en el filtro de prueba duplica la de un banco de filtros.
2. Incluyó el sistema SI (Internacional System of Units) manteniendo también el sistema I-P (inch-pounds).

La mayor desventaja de esta norma era el largo periodo de tiempo que se requería para determinar la eficiencia de la mancha de polvo, lo que impactaba seriamente el costo de la prueba.

Posteriores investigaciones concluyeron que un método de prueba más corto podría ser usado y aún proveer la precisión del ASHRAE 52-76, lo cual llevo a reemplazarlo por un nuevo estándar y en 1992 se aprobó el estándar ASHRAE 52.1-1992

- ASHRAE 52.1-1992. Este estándar contiene conceptos que son aceptados hoy por la industria de filtración del aire:
  1. Se requiere tanto la prueba de eficiencia de mancha de polvo atmosférico, como la prueba de retención de peso (arrestance) de un polvo sintético.
  2. Define el método de prueba de mancha de polvo atmosférico, como "eficiencia" y la prueba de pesos de polvo sintético como "retención".

La palabra "eficiencia" requiere para su buena interpretación el uso de la frase "eficiencia

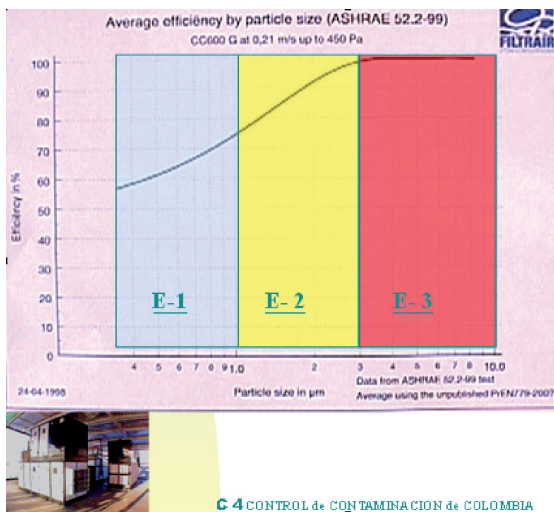
ASHRAE de mancha de polvo atmosférico”, ya que puede ser malinterpretada y mal aplicado. En el ASHRAE 52.2 se tiene ya una medición mas eficiente de los filtro y se describe a continuación.

En el método ASHRAE 52.2 la generación incluye partículas de KCl y la medición antes y después mediante contador de partículas, generando eficiencias por conteos reales y separada hasta en 12 canales de tamaños de partículas, dando 3 tipos de eficiencias por rangos de tamaño de partículas y generando el término MERV (mínimo valor de eficiencia reportado) para clasificar los filtros dependiendo de estas eficiencias.

Valor MERV: este valor de eficiencia se describe en la siguiente tabla del ASHRAE 52.2 es importante anotar que se define como el “mínimo” valor de eficiencia reportado, esto significa que dos filtros con diferentes capacidades de dust holding y diferente comportamiento en el tiempo en cuanto a eficiencia podrían tener el mismo valor MERV (inicial).

En la figura 13 se observan los tres rangos de tamaño de partícula que se deben reportar en las pruebas de los filtros bajo el estándar ASHRAE 52.2. Esta gráfica resalta la gran diferencia entre la eficiencia bajo el estándar 52.1 y el 52.2. En este ultimo, las eficiencias son diferenciadas según tamaño de partículas y definidas de forma compuesta bajo la nueva sigla MERV.

Figura 13. Eficiencia según los rangos de las partículas.



MERV

Fuente: Cortesía C4 Control de Contaminación.

2.5.4.2.2 PRUEBAS DE FILTROS VS COMPORTAMIENTO REAL DEL FILTRO.

El estándar ASHRAE específicamente establece que:

“Ya que el contaminante usado para cargar el filtro no es típico de polvo atmosférico natural, sus efectos en el filtro pueden no ser similares en la práctica. Los valores de comportamiento obtenidos



de acuerdo con el estándar no pueden ser usados por si mismos para predecir la limpieza del aire en un espacio específico ventilado o la vida del servicio de un filtro instalado”.

“...en el caso de los limpiadores de aire, la amplia variedad en la cantidad y tipo de partículas en el aire que se limpia, hacen la evaluación difícil. Otra complicación es la dificultad de relacionar estrechamente el comportamiento medible a los requerimientos específicos del usuario, el aire recirculado tiende a tener una mayor cantidad de motas que el aire exterior. Sin embargo, estas dificultades no deberían oscurecer el principio de que las pruebas deberían simular tanto como sea posible el uso real”.

- Estándar UI 900 Como resultado de pruebas aceptables bajo el standar UL 900, un filtro puede ser listado en dos (2) categorías:
- Clase I: Los filtros que estando limpios no hacen combustión cuando son atacados por llamas y solo emiten cantidades despreciables de humo.
- Clase II: Los filtros que estando limpios se queman moderadamente cuando son atacados por llamas y emiten cantidades moderadas de humo.

## 2.6 FACTORES INFLUYENTES EN EL DESEMPEÑO DE UN FILTRO DE AIRE

Los tres factores críticos en el comportamiento de un filtro son:

1. Variación de la resistencia del filtro con el flujo de aire.
2. Variación de la resistencia del filtro con la carga de polvo y el flujo de aire de proyecto.
3. Efecto de las cargas de polvo en el flujo de aire sobre el rendimiento del filtro.

El rendimiento de un filtro en particular varía no solo con la carga de polvo sino también con las características de las partículas contaminantes. La capacidad de un filtro es una medida de su vida útil o duración de servicio antes de cambiarlo o limpiarlo.

### **Otros Factores**

- Robustez: Un filtro robusto permite mayor retención de partículas.

- Facilidad de conservación: Se refiere a la facilidad de mantenimiento del filtro (abatido, aspiración, soplado o lavado).

### 2.6.1 EFICIENCIA.

La eficiencia es determinada comparando la decoloración de dos (2) blancos:

Probando el aire atmosférico aguas arriba<sup>13</sup> del filtro bajo prueba y el otro probando aguas abajo<sup>14</sup> del filtro.

Ya que el filtro removerá parte de los particulados contenidos en el aire atmosférico, el blanco aguas abajo se decolorará mas lentamente que el de aguas arriba.

Filtros con eficiencia promedio por debajo del 20% o sobre el 98% no se consideran apropiados para este método de prueba, ya que los primeros reportarán con menos del 20% de eficiencia y los filtros con eficiencia sobre el 98% se prueban con el procedimiento del DOP usado por filtros HEPA.

#### 2.6.1.1 MÉTODOS PARA CALCULAR LA EFICIENCIA DE UN FILTRO DE AIRE.

El rendimiento y la capacidad de los filtros de aire se determinan por varios métodos de ensayo normalizados que difieren principalmente en el aerosol de ensayo empleado y en el método de medida de la cantidad de polvo que atraviesa el filtro.

Los tres (3) métodos de ensayo mas utilizados son:

1. Método del peso o gravimétrico (con polvo sintético) con los aerosoles especificados por el Air Filter Institute Code, ASHRAE 52.1-1992, UNE 100.301, EUROVENT 4/9 y una modificación del antiguo código ASHVE.
2. Método colorimétrico u opacímetro de la mancha de polvo (con polvo atmosférico) con procedimientos como los normalizados por el AFIC, el National Boureau of Standards (NBS) y ASHRAE 52.2-1999, UNE 100.301, EUROVENT 4/9<sup>15</sup>.
3. Ensayo DOP (dioctyl-phtalato) para filtros absolutos (HEPA y ULPA): UNE 100.302 y BS 3928, con el cual se cuentan las partículas utilizando un aerosol de humo químico.

---

**13** Ver definición en el glosario.

**14** Ver definición en el glosario.

**15** La clasificación según la norma UNE-EN 779, sustituye la clasificación de la norma EUROVENT 4/9.

La concentración de diferentes tamaños de partículas en la atmósfera es medida usualmente por peso o conteo. Otro método, basado en la proyección del área (sombra) de una partícula puede ser usado para mediciones relativas de la porción que se mancha de polvo atmosférico.

Cabe aclarar que las normas ASHRAE y EUROVENT consideran la clasificación de los filtros basado en la eficiencia por el tamaño de las partículas.

La siguiente tabla muestra los filtros de aire más comunes con su respectiva eficiencia.

Tabla 4. Clasificación de los diferentes tipos de filtros.

CLASIFICACIÓN DE FILTROS SEGÚN UNE-EN 779 <sup>16</sup>							
CLASE		EFICIENCIA					
EN 779	EUROVENT 4/9	Retención en peso de polvo sintético (Método Gravimétrico)			Eficiencia con polvo atmosférico (Método Opacímetro)		
G1	EU-1	-	$A_i <$	65			
G2	EU-2	65	$\leq A_i <$	80			
G3	EU-3	80	$\leq A_i <$	90			
G4	EU-4	90	$\leq A_i$	-			
F5	EU-5				40	$\leq E_i <$	60
F6	EU-6				60	$\leq E_i <$	80
F7	EU-7				80	$\leq E_i <$	90
F8	EU-8				90	$\leq E_i <$	95
F9	EU-9				95	$\leq E_i$	-
FILTROS ABSOLUTOS UNE-EN 1882 <sup>17</sup>							
H10 (HEPA)	EU-10	85	$\leq E$				
H11 (HEPA)	EU-11	95	$\leq E$				
H12 (HEPA)	EU-12	99.5	$\leq E$				
H13 (HEPA)	EU-13	99.95	$\leq E$				
H14 (HEPA)	EU-14	99.995	$\leq E$				
U15 (ULPA)	EU-15	99.9995	$\leq E$				
U18 (ULPA)	EU-16	99.99995	$\leq E$				
U17 (ULPA)	EU-17	99.999995	$\leq E$				

- Grado medio de filtración  $A_i$  frente a polvo sintético (método del peso): Estos filtros de polvo grueso, tienen una eficiencia inicial  $E$  (método colorimétrico) inferior al 20%.
- Grado medio de eficiencia  $E_i$  frente a polvo atmosférico (método colorimétrico u opacímetro): Estos filtros de polvo fino tiene una eficiencia inicial  $E$  (método del peso) igual o superior al 20% pero en todo caso inferior al 98%.

**16** Según la norma UNE-EN 779, la eficiencia está dada para tamaños de partículas desde 0,25 a 5  $\mu\text{m}$

**17** Según la norma UNE-EN 1882, la eficiencia de los filtros HEPA y ULPA está dada para tamaños de partículas entre 0,15 y 0.25  $\mu\text{m}$ .

La eficiencia de los filtros HEPA y ULPA, se ensayan con el método DOP, que emplea un aerosol de partículas de  $0,15 \mu\text{m}$  de diámetro medio de un líquido viscoso de alto punto de ebullición.

#### 2.6.1.1.1 MÉTODO DEL PESO.

Expresa el rendimiento del filtro en términos de peso de las partículas extraídas con relación al peso de las partículas inyectadas al flujo de aire. Determina la capacidad para remover partículas grandes de polvo atmosférico.

#### 2.6.1.1.2 MÉTODO DE LA MANCHA DE POLVO.

También conocida como ennegrecimiento, caracteriza los filtros en términos de la opacidad relativa de las manchas resultantes en un papel de prueba al ser atravesado por el aire antes y después del medio filtrante probado. La densidad óptica de las manchas es medida fotométricamente. Proporciona una medida de la eficacia del filtro para eliminar la clase de polvo que mas puede producir decoloración de paredes y techos.

Tabla 5. Eficiencias de punto de polvo ASHRAE ( $1\mu\text{m}$  partículas)

Tipo de filtro	Rango de eficiencia %	Aplicación
Por impacto viscoso	5-25	Remoción de polvo y pelusa.
Medios secos: Fibra de vidrio, capas de celulosa, fieltro de lana.	25-40	Igual a la anterior y para algunas aplicaciones industriales.
Esteras de 3 a 10 Fibra densa de 6 a 20mm	40-80	Sistemas de recirculación y aire fresco en edificios.
Esteras de 0.5 a 4 Fibra (usualmente de vidrio)	80-98	Salas de cirugía, cuartos limpios, aplicaciones especiales.
Electrostático ( dependiendo del tipo)	20-90	Polen y partículas aerotransportadas.

Fuente: Refrigeration and air conditioning. Pág. 62

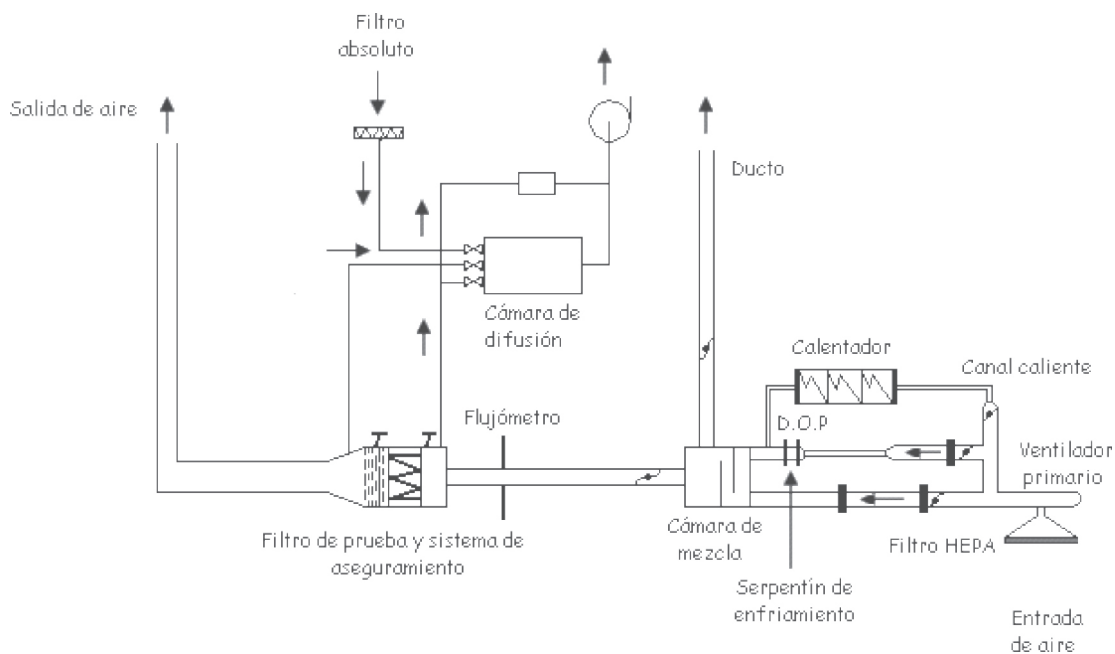
### 2.6.1.1.3 MÉTODO DE PENETRACIÓN DOP.

Se utiliza para filtros con alta eficiencia (por ejemplo los utilizados en aplicaciones electrónicas y nucleares). Da el rendimiento del filtro en función de la tendencia a la dispersión de luz de las partículas de una nube de humo especial compuesto por DOP (di-octil-ftalato)\*cuyas partículas tienen un diámetro uniforme de 0.3 micrones. La concentración DOP es obligada a pasar a través del filtro y ésta es medida fotoeléctricamente antes y después del filtro.

\* Grupo de compuestos químicos principalmente empleados como plastificadores (sustancias añadidas a los plásticos para incrementar su eficiencia. Definición tomada de <http://www.quimitet.com>

- Probador de eficiencia DOP. Un probador DOP mide la penetración, es decir, el porcentaje de DOP que pasa a través del filtro. La eficiencia es 100% menos la penetración. Se toma una muestra de aire en el plenum aguas abajo del filtro y se lleva por tubería al fotómetro donde se mide la penetración.

Figura 14. Dibujo esquemático de un probador de aire DOP.



Fuente: Revista Acaire Ed.15

- Descripción de funcionamiento. El aire que entra al ventilador se filtra a través de los filtros HEPA para remover la mayor parte posible de polvos aerotransportados. El ventilador descarga aire en tres (3) canales. En el primero, el aire puede calentarse y luego se pasa sobre DOP líquido caliente en donde toma DOP en forma gaseosa. El segundo canal es aire a la temperatura del cuarto la cual condensa en un aerosol líquido idealmente de 0.3 micrones de diámetro. El tercer canal contiene aire de difusión para evitar que ocurra aglomeración del DOP. El flujo de los tres canales va a una cámara de mezcla en donde se estabiliza el DOP en aerosol. Durante una prueba, el aire con DOP pasa por una cámara en la cual el filtro bajo prueba esta asegurado.

Antes de iniciar una prueba, aire de la cámara de muestra se pasa a través de un aparato óptico que mide el tamaño de las partículas del aerosol y se hacen chequeos intermitentes.

Antes de que comience la prueba, parte del aire filtrado con el filtro HEPA es pasado a través del fotómetro. Idealmente, el fotómetro remueve todo el polvo aerotransportado de tal manera que la lectura debe ser cero (0).

Cuando un filtro HEPA está bajo prueba, esta encapsulado, es decir, mantenido en su lugar de tal modo que toda la penetración del DOP sea medida. Esto no solamente influye el medio del filtro, sino también el marco y cualquier pegante que pueda ser usado, la dirección del flujo de aire debe ser tenida en cuenta con relación al marco de los empaques. Con relación al medio filtrante no es importante.

Durante la prueba también se mide la caída de presión del filtro HEPA al igual que la capacidad. Cada filtro es etiquetado individualmente con su penetración, caída de presión y flujo de aire registrado sobre el filtro.

#### 2.6.1.1.4 MÉTODO DE LA EFICIENCIA POR TAMAÑO DE PARTÍCULAS.

Mide la capacidad del medio filtrante para remover partículas de un tamaño determinado usando aire atmosférico, aunque estos datos no son confiables debido al efecto de las condiciones climáticas. Actualmente se usa un aerosol de potasio clorhídrico en fase sólida para obtener datos consistentes.

### 2.6.1.1.5 MÉTODO CON FLUJO INTERMITENTE.

En este método, el probador aguas abajo opera continuamente y el de aguas arriba solo opera un tiempo seleccionado para decolorarse a la misma rata del probador aguas abajo. Por ejemplo, si un filtro con una eficiencia estimada en un 90% es el que debe probarse, el probador aguas arriba debe usar 6 segundos de cada 60 segundos.

Es importante que los dos blancos se oscurezcan a la misma rata; para compensar esto, la opacidad se mide para ambos blancos aguas arriba y aguas abajo. La ecuación queda finalmente:

$$E = 100 \times [1 - (S_u/S_d) (Y_d/Y_u)]$$

Donde

E= Eficiencia de mancha de polvo

S<sub>u</sub>= Tiempo total “prendido” del probador aguas arriba

S<sub>d</sub>= Tiempo total “prendido” del probador aguas abajo.

Y<sub>u</sub>= Opacidad en el blanco aguas arriba

Y<sub>d</sub>= Opacidad en el blanco aguas abajo

El estándar requiere que esta prueba sea repetida y que los resultados de las pruebas estén dentro del rango definido aceptables. Si los están, los dos valores se promedian y este se reporta como la eficiencia para el punto de prueba. Si no lo están, se hacen tres (3) pruebas adicionales y se reporta la mediana de las cinco (5) pruebas como la eficiencia.

### 2.6.1.1.6 MÉTODO DE FLUJO CONSTANTE.

En este método ambos probadores se corren en el mismo periodo de tiempo. Las opacidades se calculan en la lista de flujo intermitente pero no son usadas en la ecuación porque la relación entre opacidad<sup>18</sup> y decoloración no es lineal. La opacidad se usa para determinar el índice de opacidad, el cual se encuentra en el estándar ASHRAE 52.1-1992.

---

<sup>18</sup> Ver definición en el glosario.

La ecuación para la eficiencia es:

$$E = 100 \times [1 - Z_d/Z_u]$$

Donde

$Z_d$  = índice de opacidad correspondiente a la opacidad en el blanco aguas abajo.

$Z_u$  = índice de opacidad correspondiente a la opacidad en el blanco aguas arriba.

Se realizan dos (2) pruebas, si las dos están dentro de un rango especificado permisible, se promedia y se reporta como la eficiencia.

Si el valor permisible no se alcanza, se hacen tres (3) pruebas adicionales y a la mediana de los cinco valores se reporta como eficiencia.

Este método suministra una medida de la eficiencia mucho más rápido que el anterior en razón a que no es necesario alcanzar un nivel específico en ambos blancos.

## 2.6.2 RETENCIÓN.

El polvo sintético utilizado en estas pruebas es 72% polvo de prueba estandarizado el cual se clasifica como polvo extraído del desierto de Arizona. Esta sílica tiene un diámetro promedio de 7.7 micrones. El porcentaje en pesos de las partículas de diferente tamaño contribuidas por este material al polvo de pruebas de ASHRAE es (ver cuadro A).

## 2.6.3 CERTIFICACIÓN DE LOS FILTROS.

A mediados de los años sesenta, la ARI (Air Conditioning and Refrigeration Institute) trabajó con fabricantes de filtros con el objeto de desarrollar un plan para realizar un programa para certificación de filtros de aire.

### 2.6.3.1 INFORMACIÓN DISPONIBLE EN LAS HOJAS PARA RESUMEN DE PRUEBAS DE FILTROS ASHRAE

Los principales aspectos a tener en cuenta son los siguientes:



- Nombre del laboratorio que realiza la prueba.
  - Método de prueba usado.
  - Numero de reporte.
  - Solicitante de la prueba.
  - Proveedor del filtro.
  - Modelo del filtro y dimensiones.
  - Información publicada respecto al filtro.
  - Resultados de la prueba, que deben incluir:
    1. Flujo de aire de prueba
    2. Resistencia inicial
    3. Resistencia final
    4. Eficiencia de mancha de polvo inicial y promedio
    5. Retención promedio
    6. Capacidad de contener polvo ASHRAE
  - Tipo de filtro genérico.
  - Tipo de medio.
  - Área efectiva promedio.
  - Tipo de adhesivo.
  - Rata de alimentación de polvo.
  - Comentarios generales.
  - Espacio para firma del responsable.
  - Fecha.
-

## 2.7 PROCEDIMIENTO PARA MEDIR LA EFICIENCIA DE UN FILTRO DE AIRE

Se recomiendan los siguientes pasos:

1. Medir la caída de presión del filtro limpio bajo prueba en porcentaje de 50, 75, 100 y 125% del flujo de aire especificado.
2. Hacer la primera prueba de eficiencia de mancha de polvo, con el filtro limpio.
3. Colocar el filtro final y cargar el alimentador de polvo con una cantidad pesada de polvo para prueba ASHRAE, idealmente del 25% del total que se espera sea alimentado. El polvo se alimenta de una rata de 1000 gramos por 1000 pies cúbicos (ft<sup>3</sup>) de aire de prueba, al final se registra la cantidad de polvo registrado y se mide la cantidad de polvo capturado en el filtro final.
4. Se repite la prueba de eficiencia de mancha de polvo.
5. Se repite el paso N° 3 cargando el segundo segmento de polvo.
6. Se repiten los pasos 4 y 5 hasta que uno de los siguientes eventos ocurran:
  - Se alcanza la máxima caída de presión especificada.
  - Dos medidas consecutivas de A son menos de 85% que la máxima de A, medida durante la corrida.
  - La retención A es menos que 75% de la máxima A medida por ciclos, para filtros auto renovables.
  - Al final de la prueba se calcula la eficiencia promedio, la retención de polvo promedio y la capacidad de soportar polvo usando el procedimiento descrito estándar.

### 2.7.1 ESTIMACIONES DE DISEÑO PARA SELECCIÓN DE FILTROS DE AIRE.

Los requerimientos de diseño rara vez coinciden con los gastos de aire o con la pérdida de presión según el fabricante de cada filtro. En estos casos, se debe suponer que la pérdida

de presión a través del filtro es proporcional al cuadrado del gasto. Así, haciendo que el subíndice r represente las condiciones nominales, la pérdida de presión  $\Delta P$  a cualquier tasa de flujo requerida puede determinarse por:

$$\Delta p = \Delta p_r \left( \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_r} \right)^2$$

Los sistemas CVAR diseñados de manera adecuada, deben utilizar la limpieza del aire conjuntamente con la modificación de las fuentes contaminantes, la dilución de los contaminantes con el aire exterior y una adecuada distribución de aire en los espacios para obtener un desempeño óptimo al costo más bajo.

Se puede utilizar las siguientes dos ecuaciones como base para seleccionar y ubicar los filtros de aire para los sistemas de volumen de aire variable.

Tabla 6 .Selección y ubicación de filtros de aire

Ubicación del filtro(ver figura 9)	Tasa de aire exterior requerida
A	$\dot{Q} = \frac{\dot{N} - E_v R \dot{Q}_r E_f C_s}{E_v (C_s - C_o)}$
B	$\dot{Q} = \frac{\dot{N} - E_v R \dot{Q}_r E_f C_s}{E_v [C_s - (1 - E_f) C_o]}$

Donde:

$\dot{Q}$  : Gasto volumétrico

C: Concentración del contaminante

E: Eficiencia

N: Tasa de generación de contaminante

R: Factor de flujo de recirculación

Y los subíndices respectivos son:

f: filtro

o: exterior

r: retorno

s: suministro

v: ventilación

### 2.7.2 Operación y mantenimiento de los sistemas CVAR

- Asegurarse de que las entradas de aire fresco de los sistemas CVAR estén parcialmente abiertas en todo momento, incluso en temperaturas extremas.
- Revisar los filtros de aire para comprobar su calidad y ajuste. Los espacios en las instalaciones de filtros de aire reducen su utilidad.
- Consultar con los proveedores para cerciorarse de que usa filtros eficientes y de buena calidad y sustituirlos regularmente.
- Mantener limpia la cámara de los filtros.
- Limpiar con aspiradora todas las rejillas de entrada y de extracción en las paredes y techos regularmente. Los bloqueos y las obstrucciones impiden que el aire fluya.
- Cerciorarse de que la condensación de los conductores de enfriamiento drene adecuadamente y que las bandejas recogedoras de goteos así como los desagües no estén bloqueados.
- Revisar que las áreas alrededor de la unidad de tratamiento de aire deben estar siempre limpias. No permitir que objetos o residuos bloqueen las salidas de aire. Si fuera necesario coloque avisos.

- Limpiar y pintar el exterior de las unidades regularmente y efectuar un mantenimiento regular.
- Respetar puntualmente los programas de limpieza y cambios de los filtros suplementarios.
- Responsabilizar a una persona para que vigile el sistema de ventilación.

### **3. NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS**

#### 3.1 NORMAS NACIONALES

NTC 4982: Dispositivos de control eléctrico automático para uso domestico parte 1: requisitos generales.

Esta norma aplica a los dispositivos de control eléctrico automáticos destinados a utilizarse en, sobre o con equipos para uso domestico y análogo, incluyendo los dispositivos de control para calefacción, aire acondicionado y sus análogos.

NTC 3292 - Aire acondicionado. Acondicionadores de aire para recintos.

Establece métodos normalizados para medir el funcionamiento e incluye secciones sobre definiciones, condiciones de ensayo, ensayos para medidas normalizadas, ensayos de funcionamiento y seguridad aplicadas a acondicionadores.

NTC 3714 - Aire acondicionado. Acondicionadores de aire para recintos.

Establece requisitos para acondicionadores de aire para recintos, clasificados para no más de 600 v de corriente alterna (c.a).

NTC 3476 - Aire acondicionado. Prueba y evaluación de equipos.

Acondicionadores de aire - enfriadores para automóviles.

#### 3.2 NORMAS INTERNACIONALES

Para ampliar esta información se recomienda consultar los siguientes documentos:

AFI (Air Filter Institute).

Artículos y standards de ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers).

NAFA Guide To Air Institute.

NBS (National Boureau of Standards)

NORMA ISO 14644-1:1999

## 4. GLOSARIO

**ABSORBER:** dicho de una sustancia sólida/ejercer atracción sobre un fluido con el que se está en contacto, de modo que las moléculas de éste penetren en aquella.

**ADSORBER:** atraer y retener en la superficie de un cuerpo moléculas o iones de otro cuerpo.

**AEROSOLE (DROPLET):** Término utilizado para llamar una gota de líquido suspendida en el aire.

**AGUAS ARRIBA:** antes de.

**AGUAS ABAJO:** después de.

**ANTÍGENO:** sustancias que provocan una respuesta inmunitaria específica, por generar anticuerpos que son reconocidos como una amenaza.

**ARRESTANCIA:** término utilizado para describir la capacidad de un filtro a retener en peso la carga total de contaminación del aire, término utilizado principalmente para filtros de bajas eficiencias sobre partículas invisibles, usados como pre-filtros o filtros gruesos.

**BACTERIA:** Forma biológica de organismos unicelulares que se presentan en el ambiente como partículas suspendidas y son generadoras de efectos de contaminación biológica.

**CAPACIDAD (DE UN FILTRO):** termino a usar para describir filtros fabricados para capturar contaminantes químicos, está dada por la capacidad máxima de retener un contaminante dado.

**CONTAMINACION:** acción o presencia no deseada de un agente contaminante sobre un proceso, persona o ambiente. Es un concepto relativo y para que se considere como contaminación debe existir la relación agente y efecto no deseado.

**CONTAMINANTE:** agente físico, químico o Biológico que se define de forma relacional como contaminante por la relación entre este y la acción no deseada que genera sobre un proceso (o producto), una persona o un ambiente dado.

**DUST HOLDING:** máxima cantidad en gramos de partículas que un filtro puede retener a una presión de trabajo máxima y conservando su capacidad en flujo de aire.

**EFICIENCIA:** término utilizado para describir por diferentes métodos la capacidad de un filtro para capturar partículas, utilizado principalmente para filtros finos de elevadas eficiencias sobre partículas invisibles.

**FLUJO DE AIRE:** se define como el volumen de aire de la prueba que pasa a través del dispositivo por unidad de tiempo. Es expresado en metro cúbico por segundo (m<sup>3</sup>/seg) o en pies cúbicos por minuto (cfm) (ft<sup>3</sup>/min) con una exactitud de tres cifras significativas.

**FUERZAS DE VAN DER WAALS:** son fuerzas de estabilización intermoleculares que forman un enlace químico no covalente en el que participan dos tipos de fuerzas o interacciones, las fuerzas de dispersión (fuerzas de atracción) y las fuerzas de repulsión entre las capas electrónicas de dos átomos contiguos.

**MERV:** Palabra que define según el estándar ASHRAE 52.2 la eficiencia según el nuevo método de este estándar y traduce: mínimo valor de eficiencia reportado.

**MICRÓN:** es una millonésima de un metro o 1/25, 400 pulgadas.

**MOMENTO DIPOLAR:** es la mayor concentración de electrones en un solo punto, que permite la alineación de éstos con la parte de la fibra mas concentrada negativamente.

**MOVIMIENTO BROWNIANO:** es el movimiento aleatorio que se observa en algunas partículas nanoscópicas que se hallan en un medio fluido. El movimiento aleatorio de estas partículas se debe a que su superficie es bombardeada incesantemente por una serie de colisiones en donde estas pequeñas partículas (denominadas térmicas) experimentan choques con una partícula mayor. Este bombardeo a escala atómica no es completamente uniforme siempre y sufre variaciones estadísticas importantes. Así la presión ejercida sobre los lados puede variar ligeramente con el tiempo provocando dicho movimiento.

**OPACIDAD:** es la reducción en la transmisión de la luz.

**PARTICULA:** agente contaminante de tamaños variables desde visibles hasta invisibles que se encuentran en la corriente de aire y por su naturaleza se consideran agentes físicos aunque podrían ser potencialmente portadores de contaminantes químicos o biológicos.



**PARTICULAS SUSPENDIDAS:** son las partículas que por su tamaño y peso relativo no se sedimentan fácilmente, generalmente no visibles al ojo humano, y podrían tardar hasta años en depositarse, son estas partículas el objeto principal de la filtración fina del aire.

**PRECIPITACIÓN ELECTROSTÁTICA:** mecanismo por el cual las partículas de polvo se cargan eléctricamente debido a la acción de un campo eléctrico y se precipitan al hacerlas pasar por una superficie cargada de signo contrario.

**RESINA:** sustancia sólida o de consistencia pastosa, insoluble en el agua, soluble en el alcohol y en los aceites esenciales, y capaz de arder en contacto con el aire, obtenida naturalmente como producto que fluye de varias plantas.

## **5. REFERENCIAS**

ALTHOUSE, Andrew, TURNQUIST, Carl H. y BRACCIANO, Alfred F. Modern refrigeration and air conditioning. U.S.A. 1968.

ASHRAE 62-1989 "Gravimetric and dust-spot procedures for testing air cleaning devices used in generate ventilation for removing particulate matter".

ASHRAE Handbook.

CARRIER. Manual de aire acondicionado.

DICCIONARIO DE LA REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. 22 ed.

HVAC SYSTEMS. SMACNA. Testing, adjusting and balancing. 3 ed. U.S.A. 1986.

HVAC SYSTEMS APPLICATIONS. SMACNA. Sheet metal and air conditioning contractors national association. 5 ed. U.S.A. 1995.

LA IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA INGENIERÍA DE VENTILACIÓN, AIRE ACONDICIONADO Y CALEFACCIÓN. Tomo II. 106 p.

LASCARRO, Jairo Francisco y OROZCO HINCAPIÉ, Carlos Alberto. Memorias seminario internacional de proyectos de aire acondicionado. Énfasis en calidad del aire. Pereira, Colombia. Universidad tecnológica de Pereira. 1999. 273p.

MERIÑO VISBAL, Enrique A. Conceptos sobre filtración.

NAFA GUIDE TO AIR FILTRATION. 4 ed.

REVISTA ACAIRE .25 ed.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_ 24 ed.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_ 22 ed.

\_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_ 21 ed.

\_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_ 20 ed.

\_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_ 18 ed.

\_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_ 17 ed.

\_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_ 16 ed.

\_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_ 15 ed.

\_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_ 14 ed.

STOECKER, Wilbert E y JONES, Jerold W. Refrigeration and air conditioning. 2 ed. U.S.A. 443 p.

WHITMAN; William C. y JOHNSON, William M. Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado. Tomos III. España.

C4 Curso de control de contaminación del aire"2002

URL: <http://mundohvacr.com.mx/articulos>.

URL: [www.solomantenimiento.com](http://www.solomantenimiento.com)

URL: [www.camfilfarr.com](http://www.camfilfarr.com)

URL: [www.ingenierias.net/200faire.htm#faire](http://www.ingenierias.net/200faire.htm#faire)

**ANEXOS**

Tabla 7. Valores típicos de desempeño de filtros de impacto. Fuente: NAFA Guide To Air Filtration.

Descripción	Velocidad en la cara fpm (m/s)	Caída de presión filtro limpio pulg. C.A. (Pa)	Porcentaje ASHRAE arrestance %	Capacidad de retención de polvo gr/pies <sup>2</sup> (gr/m <sup>2</sup> )	Caída de presión final pulg. C.A. (Pa)
Lavables metálicos con adhesivos de 2 pulg.	350 (1.78)	0.06 (15)	60-70	110-120 (10.2-11.1)	0.50 (124)
Lavables metálicos con adhesivos de 1 pulg.	350 (1.78)	0.05 (12)	50-60	100-110 (9.29-10.2)	0.50 (124)
Lavables permanentes de 2 pulg.	300 (1.52)	0.10 (25)	75-80	100-110 (9.29-10.2)	0.50 (124)
Medio de fibra de vidrio de 1 pulg.	300 (1.52)	0.06 (15)	60-70	40-50 (3.71-4.65)	0.50 (124)
Medio de poliéster de 2 pulg. de espesor. Doble densidad.	300 (1.52)	0.14 (35)	85-90	40-50 (3.71-4.65)	0.50 (124)
Medio de poliéster de 1 pulg. de espesor. Doble densidad.	300 (1.52)	0.08 (20)	70-80	50-65 (4.65-6.04)	0.50 (124)
Medio de poliéster de 0.5 pulg. de espesor. Doble densidad.	300 (1.52)	0.10 (24.9)	80-85	35-45 (3.25-4.18)	0.50 (124)
Medio de poliéster de 1 pulg. de espesor. Mono densidad.	3.50 (1.78)	0.08 (20)	80-85	40-50 (3.71-4.65)	0.50 (124)
Medio de polietileno electrostático de 1 pulg. de espesor.	3.50 (1.78)	0.12 (30)	60-90	40-50 (3.71-4.65)	0.50 (124)

Tabla 8. Valores típicos de desempeño de filtros de superficie extendida. Fuente: NAFA Guide To Air Filtration

Tipo de filtro	Tipo de material filtrante	Espesor Pulg. (mm)	Porcentaje de eficiencia %	Caída de presión inicial pulg. C.A. (Pa)	Velocidad en el medio filtrante fpm (m/s)	Área del medio filtrante Pies <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )
Bolsa	Fibra de vidrio	29 (737)	90-95	0.50-0.60 (124-149)	24 (0.122)	84 (7.8)
			80-85	0.40-0.50 (99.5-124)		
			60-65	0.35-0.40 (87.1-99.5)		
			45-50	0.15-0.20 (37.3-50)		
	Sintético	29 (737)	90-95	0.50-0.60 (124-149)	24 (0.122)	84 (7.8)
			80-85	0.40-0.50 (99.5-124)		
			60-65	0.35-0.40 (87.1-99.5)		
			45-50	0.30-0.35 (74.6-87.1)		
			30-35			
	25 (625)	0.30-0.35 (74.6-87.1)	44 (0.224)	45 (4.18)		
	15 (381)	0.25-0.30 (62.2-74.6)	63 (0.102)	32 (2.97)		

Marco rígido	Fibra de vidrio	12 (305)	90-95 80-85 60-65	0.65-0.75 (162-202) 0.50-0.60 (124-149) 0.40-0.50 (99.5-124)	16 (0.088) 20 (0.102)	125 (11.6) 100 (9.26)
	Fibra de vidrio	12 (305)	90-95 80-85 60-65	0.65-0.75 (162-202) 0.50-0.60 (124-149) 0.40-0.50 (99.5-124)	34 (0.088)	58 (5.39)
Panel plegado	Poliéster	2 (50.8)	20-30	0.20-0.35 (49.8-87.1)	125 (0.635)	16 (1.49)
		4 (101.6)	20-30	0.20-0.35 (49.8-87.1)	83 (0.422)	24 (2.23)
	Fibra de vidrio	2 (50.8)	30-40	0.20-0.35 (49.8-87.1)	125 (0.635)	16 (1.49)
		4 (101.6)	30-40	0.20-0.35 (49.8-87.1)	83 (0.422)	24 (2.23)
Marco rígido en V	Fibra de vidrio	12 (305)	90-95 80-85 60-65	0.35-0.40 (87.1-99.5) 0.25-0.30 (62.2-74.6) 0.20-0.25 (49.8-62.2)	10.5 (0.053)	190 (17.65)

Tabla 9. Clasificación de clases por tamaño de partícula. Fuente: Norma ISO 14644-1:1999

Clasificación ISO	Límites de partículas por clase					
	0,1µm	0,2µm	0,3µm	0,5µm	1,0µm	5,0µm
	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
1	10	2				
2	100	24	10	4		
3	1000	237	102	35	8	
4	10000	2370	1020	352	83	
5	100000	23700	10200	3520	832	29
6	1000000	237000	102000	35200	8320	293
7				352000	83200	2930
8				3520000	832000	29300
9				35200000	8320000	293000

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Clases y grados con relación a las partículas en suspensión. Fuente. Conceptos sobre filtración Ing.Enrique A Meriño Visbal.

Tabla 2. Niveles de renovación por hora. Fuente Ing. Enrique Meriño Visbal.

Tabla 3. Eficiencia de filtros. Fuente. Ing. Enrique A Meriño Visbal.

Tabla 4. Clasificación de los diferentes tipos de filtros. Según la norma UNE-EN 779.

Según la norma UNE-EN 1882.

Tabla 5. Eficiencia de punto de polvo ASHRAE ( $1\mu\text{m}$  partícula). Fuente. Refrigeration and air conditioning Pág. 62.

Tabla 6. Selección y ubicación de filtros de aire.

Tabla 7. Valores típicos de desempeño de filtros de impacto. Fuente: NAFA Guide To Air Filtration.

Tabla 8. . Valores típicos de desempeño de filtros de superficie extendida. Fuente: NAFA Guide To Air Filtration

Tabla 9. Clasificación de clases por tamaño de partícula. Fuente: Norma ISO 14644-1:1999



**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Composición del aire. Fuente: Nafa Guide To Air Filtration.

Figura 2. Tamaño de partículas. Fuente: Cortesía C4 Control de Contaminación

Figura 3. Tamaño de un micrón con relación a la dimensión del tamaño de un cabello humano y ciertas partículas pequeñas. Fuente: NAFA Guide To Air Filtration.

Figura 4. Partículas suspendidas según su tamaño. Fuente: Cortesía C4 Control de Contaminación.

Figura 5. Principios de filtración. Fuente: Cortesía C4 Control de Contaminación.

Figura 6. Prensado. Fuente: NAFA Guide To Air Filtration.

Figura 7. Impacto. Fuente: NAFA Guide To Air Filtration.

Figura 8. Interceptación. NAFA Guide To Air Filtration.

Figura 9. Efecto difusional. NAFA Guide To Air Filtration.

Figura 10. Capacidad de filtración. Fuente. Cortesía C4 Control de Contaminación

Figura 11. Distribución de las partículas. Fuente: Cortesía C4 Control de Contaminación.

Figura 12. Filtro electrónico. NAFA Guide To Air Filtration.

Figura 13. Eficiencia según los rangos de las partículas. Fuente: Cortesía C4 Control de Contaminación.

Figura 14. Esquemático de un probador de aire DOP. Fuente: Revista Acaire Ed.15.