

Evaluación de la exposición laboral a aerosoles (IV): selección del elemento de retención

*Évaluation de l'exposition professionnelle à aérosols. Sélection des éléments de rétention.
Occupational exposure assessment to aerosols. Collection substrates selection.*

Redactoras:

Agurtzane Zugasti Macazaga
Lda. en Ciencias Químicas

M^a José Quintana San José
Dra. en Ciencias Químicas

CENTRO NACIONAL DE VERIFICACIÓN
DE MAQUINARIA

El objetivo de esta Nota Técnica de Prevención es exponer las características de los elementos de retención a utilizar en los distintos muestreadores de fracciones de aerosoles así como los criterios para su selección. Esta nota está basada en el documento CR-03:2006 "Criterios y recomendaciones. Toma de muestra de aerosoles. Muestreadores de la fracción inhalable de materia particulada".

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de toma de muestra de aerosoles constan en general de un muestreador que selecciona la fracción de interés definida en el convenio correspondiente de la norma UNE-EN 481, un elemento de retención normalmente incorporado al muestreador donde quedan retenidas las partículas del aerosol y una bomba de muestreo. Cada uno de los componentes del sistema de toma de muestra de aerosoles influye en la eficacia del muestreo y por tanto en la fiabilidad de la medición. Los elementos de retención influyen además en el análisis de las muestras, en algunos casos de forma decisiva. Los muestreadores de fracciones pueden ser utilizados, en la mayoría de los casos, con elementos de retención de diferentes tipos o características, por lo que es importante conocer sus aplicaciones y limitaciones de cara a seleccionar el más adecuado a la medición a realizar.

Los elementos de retención que se utilizan para la toma de muestra de aerosoles son fundamentalmente los filtros, aunque en los últimos años se han desarrollado también algunos tipos de espuma para dicho fin.

2. ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA SELECCIÓN DEL ELEMENTO DE RETENCIÓN

Los aspectos a tener en cuenta en la selección del elemento de retención a utilizar en la toma de muestra de los aerosoles son los siguientes:

- Las recomendaciones del fabricante del muestreador que se vaya a utilizar en la toma de muestra de los aerosoles. El fabricante normalmente indica los tipos de elementos de retención que pueden utilizarse con el muestreador que dependen, entre otras cosas, de la geometría del muestreador y del caudal que recomienda para su uso con el fin de que la eficacia de

muestreo se aproxime a la del convenio correspondiente. En la tabla 1 se recogen los elementos de retención y los caudales recomendados para algunos muestreadores.

- Las características del elemento de retención, como son:
 - La eficacia de retención de las partículas,
 - la pérdida de carga al caudal de muestreo requerido que origina el elemento de retención,
 - el tamaño de poro,
 - el espesor,
 - la resistencia mecánica,
 - la compatibilidad con las condiciones ambientales en las que se realiza la toma de muestra como son la temperatura, presión, humedad y corrosividad,
 - la capacidad de retener vapor de agua,
 - la reactividad química,
 - las cargas electrostáticas,
 - los valores de los blancos y
 - el coste.
- La determinación analítica que sea necesario realizar (análisis gravimétrico, análisis microscópico o análisis químico) de acuerdo con el método elegido para el análisis del aerosol.

3. CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DE RETENCIÓN

Los elementos de retención que se utilizan en la toma de muestra de los aerosoles son, en la actualidad, los filtros y las espumas de poliuretano. A continuación se indican las características de los elementos de retención más utilizados.

Muestreador	Caudal de muestreo	Elemento de retención
IOM	2,0 l/min	Filtros de fibra de vidrio, membrana de éster de celulosa (MCE), PVC, policarbonato o gelatina.
PGP-GSP 3,5	3,5 l/min	Filtros de fibra de vidrio.
PGP-GSP 10	10 l/min	Filtros de fibra de vidrio.
CIP 10-I	10 l/min	Espumas de poliuretano.
BUTTON	4 l/min	Filtros de 25 mm de diámetro y de tamaño de poro $\geq 1,0 \mu\text{m}$. Pueden ser de fibra de vidrio, membrana de éster de celulosa (MCE), PVC, teflón o gelatina.
PAS-6	2 l/min	

Tabla 1. Elementos de retención y caudales recomendados para algunos muestreadores de la fracción inhalable.

Filtros

Los filtros que se utilizan como elementos de retención en la toma de muestra de aerosoles se pueden agrupar en *filtros de fibra*, *filtros de membrana porosa* y *filtros de tamaño de poro uniforme* (straight-through pore filters). En las figuras 1, 2 y 3 se muestran las microestructuras de algunos de estos filtros.

Filtros de fibra

Los filtros de fibra consisten en un entramado de fibras individuales. Las partículas que se recogen en el filtro quedan retenidas en toda la estructura del filtro. La porosidad del filtro oscila entre el 60 % y 99 % mientras que el espesor puede variar entre 0,15 mm y 0,5 mm. El tamaño de las fibras del filtro también es muy amplio, desde menos de 1 μm hasta 100 μm . Normalmente, el diámetro de las fibras de un filtro no es uniforme. Además de las fibras, algunos filtros llevan un ligante que permite mantener unidas las fibras individuales. Habitualmente, los filtros que se utilizan en la medición de aerosoles suelen estar libres de ligante (tipo A/E) ya que este último puede causar interferencias en las determinaciones analíticas. Los filtros de fibra se caracterizan por tener una baja pérdida de carga a caudales elevados y una alta eficacia de retención de las partículas. Pueden ser de vidrio borosilicatado, cuarzo, plástico y celulosa.

Los filtros de fibra de *vidrio borosilicatado* (Figura 1) se caracterizan por tener una alta eficacia de retención de las partículas y por poseer unas buenas propiedades de adhesión. Pueden soportar caudales elevados y la humedad les afecta en menor medida que a los filtros de membrana.

Los filtros de fibra de *cuarzo* tienen unas propiedades similares a los filtros de fibra de vidrio. Una ventaja que presentan con respecto a éstos es que los valores de los blancos son inferiores y más estables, con lo que resultan más adecuados en los casos en los que haya que efectuar un análisis químico de las partículas retenidas en el filtro.

Filtros de membrana porosa

Los filtros de membrana porosa (Figura 2) son geles formados a partir de disoluciones coloidales y se caracterizan por tener una microestructura muy complicada y uniforme. A menudo, la estructura del filtro consiste en una serie de capas formadas por diferentes procesos. Las partículas que se recogen en el filtro quedan retenidas en toda la superficie del filtro. La porosidad es inferior al 85 % y el espesor se encuentra entre 0,05 μm y 0,2 μm . Los filtros de membrana porosa se caracterizan por una elevada pérdida de carga y una baja capacidad de carga de partículas, obstruyéndose rápidamente. Los filtros de membrana pueden ser de ésteres de celulosa (MCE), cloruro de polivinilo (PVC), Teflón o metales sinterizados.

Filtros de tamaño de poro uniforme

Los filtros de tamaño de poro uniforme (straight-through pore filters) (Figura 3) son láminas delgadas (10 μm) de policarbonato con poros cilíndricos perpendiculares a la superficie de la lámina cuyos diámetros oscilan entre 0,1 μm y 8 μm . Se conocen como filtros Nucleopore debido a que éste fue el primer fabricante de ellos. Los filtros se caracterizan por tener una superficie lisa y unos poros de tamaño uniforme. La porosidad del filtro es baja, oscilando entre el 5 % y el 10 %. Las partículas del aerosol se recogen por impactación e intercepción cerca de los poros y por difusión en las paredes de los tubos de los poros. La eficacia de retención de estos filtros es intermedia, situándose entre los filtros de fibra y los filtros de membrana porosa. La pérdida de carga que presentan es superior a la de los filtros de fibra y comparable o superior a la de los filtros de membrana.

Aplicaciones, ventajas y limitaciones

Las aplicaciones así como las ventajas y limitaciones de los distintos tipos de filtros de fibra, de membrana y de tamaño de poro uniforme se recogen en las tablas 2, 3 y 4.

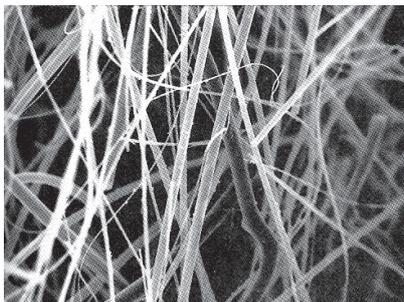


Figura 1. Filtro de fibra de vidrio

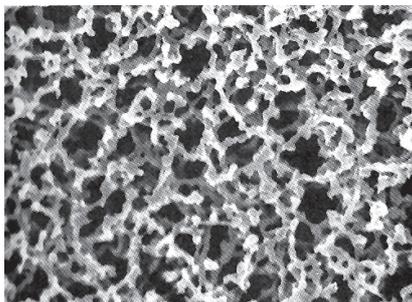


Figura 2. Filtro de membrana

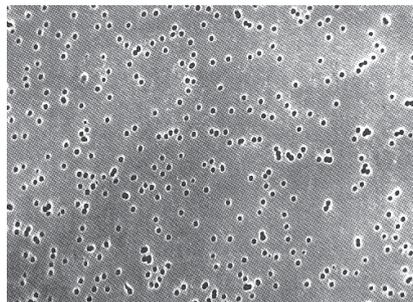


Figura 3. Filtro de tamaño de poro uniforme

Tipo de filtro	Aplicaciones	Ventajas	Limitaciones
Filtros de fibra (general)	Toma de muestra ambiental	<ul style="list-style-type: none"> Baja pérdida de carga a caudales elevados Bajo coste Alta eficacia de retención de partículas 	<ul style="list-style-type: none"> Las partículas se recogen en toda la estructura del filtro
Fibra de vidrio borosilicatado	Amplio uso en la toma de muestra ambiental. Usar filtros sin ligante (tipo A/E)	<ul style="list-style-type: none"> Resistente a la temperatura ~ 500 °C Químicamente resistente 	<ul style="list-style-type: none"> Restos de sulfatos debido a la alcalinidad de las fibras
Fibra de cuarzo	Toma de muestra ambiental para análisis químico	<ul style="list-style-type: none"> Baja retención de la humedad Estable hasta ~ 800 °C Bajos niveles de contaminación de trazas Para eliminar las trazas orgánicas, pueden calentarse antes de la toma de muestra Baja formación de otros compuestos 	<ul style="list-style-type: none"> Friable Restos de nitratos
Fibra de vidrio recubierto de Teflón	Toma de muestra ambiental para análisis químico	<ul style="list-style-type: none"> Baja retención de la humedad Minimiza la transformación química 	<ul style="list-style-type: none"> Restos de nitratos
Fibra de celulosa	Aplicaciones limitadas en la toma de muestra ambiental	<ul style="list-style-type: none"> Barato Permite la extracción de las partículas 	<ul style="list-style-type: none"> Les afecta la humedad en gran medida Rango de temperatura limitado Baja eficacia de retención de partículas Baja resistencia química

Tabla 2. Aplicaciones, ventajas y limitaciones de los filtros de fibra

Tipo de filtro	Aplicaciones	Ventajas	Limitaciones
Filtros de membrana (general)	Toma de muestra ambiental para técnicas analíticas de superficie	<ul style="list-style-type: none"> Alta eficacia de retención de partículas Alta resistencia mecánica 	<ul style="list-style-type: none"> Elevada pérdida de carga Baja capacidad de carga de partículas, se obstruyen rápidamente Rango de temperatura limitado
Celulosa (membranas de mezcla de ésteres, nitrato, acetato y PVC)	Toma de muestra de metales, algodón, polvo, etc	<ul style="list-style-type: none"> Los más baratos entre los filtros de membrana Baja resistencia química 	<ul style="list-style-type: none"> Susceptible a retener vapor de agua Temperatura de trabajo limitada a 75 °C – 130 °C Cargas electrostáticas en las membranas de PVC
Membranas de Teflón	Análisis gravimétrico	<ul style="list-style-type: none"> Inerte a las transformaciones químicas Apenas le afecta la humedad Bajo nivel de contaminación de trazas Resistencia química 	<ul style="list-style-type: none"> Pérdida de nitratos Rango de temperatura limitado a ~150 °C para las membranas de soporte y 260 °C para las membranas de PTFE puras
Membranas de plata	Recogida de materia particulada orgánica (benzoapireno, PAH)	<ul style="list-style-type: none"> Resistencia química Bajos niveles de interferencias Temperatura máxima de trabajo 550 °C 	<ul style="list-style-type: none"> El más caro de todos los filtros de membrana

Tabla 3. Aplicaciones, ventajas y limitaciones de los filtros de membrana

Tipo de filtro	Aplicaciones	Ventajas	Limitaciones
Membranas de policarbonato	Ideal para las técnicas analíticas de superficie, microscopía	<ul style="list-style-type: none"> Superficie uniforme No higroscópico Bajos valores de los blancos Superficie semitransparente 	<ul style="list-style-type: none"> Elevada pérdida de carga Baja capacidad de carga de partículas Susceptibles a las cargas electrostáticas

Tabla 4. Aplicaciones, ventajas y limitaciones de los filtros de tamaño de poro uniforme

Espumas de poliuretano

En los últimos años, se han desarrollado espumas de poliuretano de distintas densidades y tamaño de poro para recoger las partículas de los aerosoles. La mayoría de las espumas de poliuretano son de poliéster – TDI (toluendiisocianato). En las espumas, las partículas recogidas se depositan en la superficie y entre los espacios de la espuma por lo que presentan una gran superficie de retención que permite recoger grandes cantidades de partículas.

Hay muestreadores como el IOM Multidust que pueden utilizarse con filtros y espumas dependiendo de la fracción del aerosol que se quiera captar y otros, como el CIP 10 que está diseñado para utilizar únicamente con espumas. Una característica que diferencia las espumas de los filtros es que las espumas permiten separar las distintas fracciones de interés en el mismo muestreador.

4. PÉRDIDA DE CARGA ORIGINADA POR LOS FILTROS

Un aspecto importante a considerar en la selección del elemento de retención es la pérdida de carga que éste origina al caudal de muestreo requerido por el muestreador (tabla 1). La pérdida de carga depende del caudal de muestreo, de la geometría del muestreador y del tipo de elemento de retención, así como de la cantidad de partículas recogidas en el elemento de retención durante la toma de muestra. Tanto el caudal de muestreo como, en la mayoría de los casos, el elemento de retención a utilizar, vienen fijados por el fabricante del muestreador (véase CR-03/2006).

Las bombas que se utilizan para el muestreo de materia particulada presentan un rango de caudal nominal de 1 l/min a 5 l/min. En este rango, para que el muestreo sea válido, el caudal de la bomba no debe desviarse más del $\pm 5\%$ del valor inicial cuando la pérdida de carga varía entre 0,1 kPa y 6,25 kPa, de acuerdo con los requisitos de la norma UNE-EN 1232 (véase NTP-777).

Si los elementos de retención se utilizan bajo condiciones diferentes a las recomendadas, éstos pueden generar pérdidas de carga superiores a las soportadas por la bomba de muestreo y por tanto, dichos elementos de retención no pueden utilizarse para este fin.

En la tabla 5 se muestran, como ejemplo, las pérdidas de carga que generan distintos tipos de filtros no cargados en algunos de los muestreadores recomendados por

la Unión Europea para captar la fracción inhalable del aerosol. Estos valores se han obtenido mediante un montaje similar al descrito en la figura 1 del apéndice A de la NTP 778.

La tabla 6 recoge los valores de la pérdida de carga máxima que la bomba de muestreo con la que se han obtenido los valores de la tabla 5, puede soportar para los distintos caudales de muestreo. Estos valores de la pérdida de carga máxima pueden variar para las distintas bombas de muestreo existentes en el mercado. Un aspecto importante a tener en cuenta es que los filtros cargados pueden llegar a generar pérdidas de carga que superen las especificaciones de la bomba de muestreo.

Caudal de muestreo	Pérdida de carga máxima
4 l/min	9,0 kPa
3,5 l/min	10,0 kPa
2 l/min	18,0 kPa

Tabla 6. Pérdida de carga máxima de la bomba de muestreo Aircheck XR 5000 para los distintos caudales de muestreo.

El fabricante del muestreador Button recomienda que los filtros a utilizar deben tener un tamaño de poro de $1 \mu\text{m}$ o superior debido a las limitaciones de pérdida de carga del muestreador. Como puede verse en la tabla 5, tanto en los filtros de MCE como en los de PVC, la pérdida de carga aumenta al disminuir el tamaño de poro del filtro.

La pérdida de carga que generan los diferentes filtros en el muestreador PGP-GSP 3,5 es inferior a la del muestreador Button debido a que el caudal de muestreo recomendado es inferior y la geometría del muestreador es diferente. Asimismo, puede apreciarse que para un mismo tipo de filtro, PVC, la pérdida de carga es mayor en los filtros de menor tamaño de poro.

En el caso del muestreador IOM, la pérdida de carga que generan los diferentes filtros queda dentro de las especificaciones de la bomba de muestreo. Para todos los tipos de filtros recogidos en la tabla 5, la pérdida de carga en el muestreador IOM es superior a la generada en el PGP-GSP 3,5. En este caso, aunque el caudal de muestreo recomendado para el muestreador IOM es inferior al PGP-GSP 3,5 el factor que influye en la pérdida de carga es la geometría del muestreador.

Muestreador	Tamaño del filtro	Tipo de filtro				
		Fibra vidrio $1 \mu\text{m}$ tipo AE	MCE $1,2 \mu\text{m}$	MCE $0,8 \mu\text{m}$	PVC $5 \mu\text{m}$	PVC $0,8 \mu\text{m}$
BUTTON 4 l/min	25 mm	1,5 kPa	3,1 kPa	6,2 kPa	4,9 kPa	5,8 kPa
PGP-GSP 3,5 3,5 l/min	37 mm	0,8 kPa		2,2 kPa	0,7 kPa	2,6 kPa
IOM 2 l/min	25 mm	1,0 kPa	2,1 kPa	3,5 kPa	2,1 kPa	2,9 kPa

NOTA: $1 \text{ kPa} = 10 \text{ mbar} = 4,0147 \text{ "H}_2\text{O}$

Tabla 5. Pérdida de carga de los distintos tipos de filtros en algunos de los muestreadores recomendados por la Unión Europea para captar la fracción inhalable del aerosol. MCE: Membrana de éster de celulosa.

5. SELECCIÓN DEL ELEMENTO DE RETENCIÓN EN FUNCIÓN DE LA DETERMINACIÓN ANALÍTICA A REALIZAR

La elección del elemento de retención que se utiliza en la toma de muestra de aerosoles también depende de la determinación analítica que vaya a realizarse posteriormente. Las técnicas de análisis de las partículas recogidas en los elementos de retención pueden dividirse en tres categorías: análisis gravimétrico, análisis microscópico y análisis químico.

Análisis gravimétrico

El análisis gravimétrico requiere que el filtro recoja el aerosol con una eficacia de retención elevada (cerca del 100 %) y que el aumento de peso del filtro sea totalmente atribuible al aerosol recogido, es decir, el peso del filtro debe ser independiente de las condiciones ambientales (temperatura, humedad). Los factores que más afectan al análisis gravimétrico de los filtros son la humedad y las cargas electrostáticas.

Los filtros de fibra de vidrio borosilicatado y de cuarzo son los menos afectados por la humedad. Asimismo, hay algunos filtros de membrana como son los de Teflón, policarbonatos o PVC que tampoco resultan afectados, mientras que por el contrario, a los de celulosa les afecta la humedad del ambiente.

La acumulación de cargas estáticas en el filtro puede ocasionar dificultades en la manipulación de éste, aumentando o disminuyendo la eficacia de retención de las partículas en el filtro y generando errores en la pesada de los filtros. Algunos tipos de filtros de membrana como los de policarbonato y PVC pueden llegar a cargarse y ocasionar errores tanto en la toma de muestra como en la determinación analítica. Para minimizar estos efectos, el filtro se expone a una fuente bipolar de descarga de iones antes de la toma de muestra y de la determinación gravimétrica.

Análisis microscópico

El análisis microscópico se utiliza para obtener información del tamaño, la morfología y las características de composición del aerosol muestreado. El análisis microscópico requiere que las partículas se recojan en una superficie uniforme, resultando los filtros de membrana los más adecuados para ello.

Análisis químico

La elección del tipo de filtro para efectuar el análisis químico depende de la cantidad de materia particulada requerida para el análisis, de las interferencias de los blancos de los filtros y de las posibles transformaciones químicas que pueden darse en el filtro durante y después de la toma de muestra. Los filtros que habitualmente se utilizan para el posterior análisis químico son los de celulosa, fibra de vidrio, fibra de vidrio recubierto de Teflón o fibra de cuarzo.

Para poder llevar a cabo el análisis químico, las partículas recogidas en el filtro deben extraerse. En el caso de los filtros de celulosa las partículas retenidas en ellos se recuperan fácilmente incinerando o atacando el filtro en una disolución ácida. Sin embargo, las partículas retenidas en los filtros de fibra se extraen utilizando lechos ácidos. Los filtros de fibra de vidrio pueden presentar restos de sulfatos debido a la alcalinidad de las fibras. Los filtros de fibra de cuarzo resultan adecuados para el análisis químico por los bajos valores de los blancos y porque apenas se ven afectados por la humedad. Además, los filtros de fibra de cuarzo pueden someterse a altas temperaturas para eliminar las trazas orgánicas antes de la toma de muestra. Los filtros de membrana porosa también pueden utilizarse para el análisis químico aunque presentan algunos problemas debido a la capacidad limitada de carga de partículas que tienen y a la posibilidad de pérdida de partículas durante la manipulación y transporte del filtro.

Las espumas de poliuretano se utilizan para el análisis gravimétrico pero todavía no hay suficiente información sobre su adecuación para el análisis químico.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) **CR-03:2006.** Criterios y recomendaciones. Toma de muestra de aerosoles. Muestreadores de la fracción inhalable de materia particulada.
INSHT, 2006
- (2) URIBE ORTEGA, B., QUINTANA SAN JOSÉ, M.J. **Bombas de muestreo personal para agentes químicos (I): recomendaciones para su selección y uso.**
NTP-777 - Notas Técnicas de Prevención. Barcelona. INSHT.
- (3) URIBE ORTEGA, B., QUINTANA SAN JOSÉ, M.J. **Bombas de muestreo personal para agentes químicos (II): verificación de las características técnicas.**
NTP-778 - Notas Técnicas de Prevención. Barcelona. INSHT.
- (4) INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO
Métodos de Toma de Muestra y Análisis.
INSHT. Colección 1987-2005
- (5) **NORMA UNE-EN-481:1995.** Atmósferas en los puestos de trabajo. Definición de las fracciones por el tamaño de las partículas para la medición de aerosol.
- (6) **NORMA UNE-EN 1232:1997.** Atmósferas en el lugar de trabajo. Bombas para el muestreo personal de los agentes químicos. Requisitos y métodos de ensayo.
- (7) WILLEKE, K. AND BARON, P.A.
Aerosol measurement.
Ed. Van Nostrand Reinhold, 1993

