

Evaluación de la exposición laboral a aerosoles (V): recomendaciones para la toma de muestra de los aerosoles

Évaluation de l'exposition professionnelle a aérosols. Recommandations pour l'échantillonnage des aérosols
Occupational exposure assessment to aerosols. Recommendations for the aerosol sampling

Redactoras:

Agurtzane Zugasti Macazaga
Lda. en Ciencias Químicas

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

CENTRO NACIONAL DE VERIFICACIÓN DE MAQUINARIA

Vigencia	Actualizada por NTP	Observaciones
VÁLIDA		

1. INTRODUCCIÓN

Para la realización de tomas de muestra de aerosoles válidas que conduzcan a mediciones fiables, es necesario tener en cuenta los objetivos de la medición, el valor límite establecido y las características del aerosol presente en el lugar de trabajo a evaluar, que van a determinar, en primer lugar, la instrumentación y las condiciones de muestreo.

En la toma de muestra de aerosoles, es también de primordial importancia considerar la fracción por tamaño del aerosol a muestrear para la que el límite de exposición profesional está establecido ya que va a influir decisivamente en el muestreador a utilizar que, a su vez, también influye en las condiciones de muestreo.

2. OBJETIVOS DE LA TOMA DE MUESTRA

La medición de la concentración de los aerosoles presentes en los lugares de trabajo puede llevarse a cabo con diferentes objetivos:

- Si el objetivo es determinar la exposición personal para evaluar la conformidad con el valor límite, la toma de muestra debe ser personal, es decir, que el muestreador se colocará en la *zona respiratoria* del trabajador.
- Si el objetivo de la medición es proporcionar información sobre la localización e intensidad de una fuente de emisión o sobre las concentraciones y tendencias de la concentración del aerosol en la atmósfera del lugar de trabajo, es más adecuado la toma de muestra estática, colocando el sistema de muestreo en un emplazamiento adecuado del lugar de trabajo.
- Por último, si el objetivo de la medición de la concentración de los aerosoles es obtener información sobre la efectividad de las medidas de control, se puede optar por la toma de muestra personal o estática.

3. LÍMITES DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL PARA AEROSOLES

Los límites de exposición profesional a utilizar son los de la publicación "Límites de exposición profesional para

Agentes Químicos en España" del INSHT. Dicha publicación se actualiza anualmente.

Los *valores límite ambientales* (VLA) para los agentes químicos que se presentan como aerosoles están establecidos en función de la región del tracto respiratorio donde el depósito de las partículas pueda llegar a producir un efecto biológico. Estos valores pueden estar establecidos para una o varias fracciones del aerosol. En los casos en los que no se especifique la fracción del aerosol a la que corresponde el valor límite ambiental, se sobreentiende que dicho valor límite corresponde a la fracción inhalable del aerosol.

Algunos agentes químicos en forma de materia particulada no tienen un valor límite ambiental asignado ya que no se dispone de suficiente información toxicológica para poder establecer dicho límite. Para evaluar estas exposiciones, el valor límite que se utilizaría sería el que corresponde a las partículas (insolubles o poco solubles) no especificadas de otra forma. Este valor límite sólo es aplicable a aquellos contaminantes químicos en forma de materia particulada que no tengan un valor límite ambiental específico, que sean insolubles o poco solubles en agua, que tengan una toxicidad baja y que no contengan amianto y el porcentaje de sílice cristalina sea inferior al 1 %.

Finalmente, cabe destacar que también se dispone de un valor límite ambiental para los humos de soldadura. Dicho valor se podrá aplicar siempre que en la varilla que se utiliza para soldar el metal o en el revestimiento del metal no haya agentes químicos con valor límite establecido inferior al de los humos. En caso contrario, debe procederse a determinar si se sobrepasan los límites de exposición profesional específicos.

4. CARACTERIZACIÓN DE LOS AEROSOLES INDUSTRIALES

Los contaminantes químicos presentes en los lugares de trabajo se pueden encontrar en forma de suspensiones de partículas sólidas o líquidas en el aire, denominadas *aerosoles*. Generalmente, se considera que el tamaño de partícula de los aerosoles se encuentra entre 0,001 µm y 100 µm.

Los aerosoles se pueden generar en una gran variedad de actividades y procesos industriales. La naturaleza,

tamaño y número de partículas de los aerosoles industriales dependen de las características de los productos utilizados y de las operaciones que se realizan en la actividad industrial.

Un aspecto importante a considerar es el tamaño de las partículas que constituyen el aerosol. Para caracterizar el tamaño de las partículas se emplea el *diámetro aerodinámico equivalente* o el *diámetro de difusión* para las partículas de tamaño inferior a 0,5 μm . Normalmente, los aerosoles de los lugares de trabajo presentan partículas de *tamaño* muy diferente y por lo tanto, se tratarán de aerosoles polidispersos.

Los aerosoles polidispersos pueden describirse mediante distribuciones teóricas como son la distribución logarítmico-normal y la distribución logarítmico-normal acumulada, ambas caracterizadas por la media geométrica o mediana y la desviación típica geométrica. Estas parejas de parámetros describen completamente la aproximación idealizada de los datos del aerosol. La media describe el tamaño de las partículas y la desviación típica es un indicador de la dispersión del tamaño de las partículas del aerosol.

La *distribución acumulada*, para un tamaño de partícula dado, da el percentil o cantidad total de partículas del aerosol cuyo tamaño de partícula es inferior al dado. En las distribuciones logarítmico-normales acumuladas, la mediana, es decir el diámetro aerodinámico mediana, corresponde al tamaño de partícula del percentil 50 (d_{50}).

Los aerosoles presentes en los lugares de trabajo estarán, en general, mejor caracterizados por una *distribución logarítmico-normal acumulada*. Asimismo, las fracciones del aerosol que penetran en las distintas regiones del tracto respiratorio se describen también mediante distribuciones logarítmico-normales acumuladas, caracterizadas por su mediana y su desviación típica geométrica.

5. CONVENIOS PARA LA TOMA DE MUESTRA SELECTIVA DE FRACCIONES POR TAMAÑO DE PARTÍCULA

En el contexto de evaluación de daños a la salud y considerando las diferentes regiones del tracto respiratorio, se han definido, para los aerosoles, cinco fracciones por tamaño de partícula consensuadas internacionalmente: inhalable, extratorácica, torácica, traqueobronquial y respirable, así como los correspondientes *convenios para la toma de muestra selectiva* de dichas fracciones. Las definiciones de las fracciones y los convenios se pueden consultar en UNE-EN 481:1995, UNE 77213:1997, ACGIH Documentación de los TLVs en la edición de 1995, así como en el CR-03/2006 y la NTP 731.

Los convenios son relaciones entre el diámetro aerodinámico de las partículas y las fracciones del aerosol recogidas o medidas por los instrumentos de muestreo que representan aproximadamente las fracciones que penetran, bajo condiciones promedio, a las diferentes regiones del tracto respiratorio. Los convenios están expresados en términos de *fracciones de masa de las partículas*.

Para la adecuada utilización de los convenios y poder realizar mediciones fiables, debe tenerse en cuenta que:

- Estos convenios se han desarrollado para evaluar los posibles efectos sobre la salud que ocasiona la inhalación de los aerosoles en los lugares de trabajo. Una aplicación de los convenios es la comparación de la concentración másica de las fracciones del aerosol con los correspondientes valores límite.

- Los convenios representan la fracción del aerosol que captaría un muestreador ideal y por tanto, son las especificaciones que tienen que cumplir los instrumentos de muestreo cuando captan la fracción de interés.
- La *toma de muestra* de aerosoles debe realizarse teniendo en cuenta la fracción para la que está definido el límite de exposición. Para ello, los muestreadores deberán seleccionarse entre los que captan la fracción correspondiente del aerosol.
- Los convenios para la toma de muestra de las distintas fracciones *no se deben utilizar* para comparar los datos obtenidos con valores límite que estén definidos en términos completamente diferentes. Por ejemplo, no deben ser utilizados con los valores límite *para fibras* ya que éstas están definidas en función de la longitud y el diámetro de las fibras.
- El convenio para la toma de muestra de la *fracción inhalable* se ha definido para aquellas partículas cuyo diámetro aerodinámico es igual o inferior a 100 μm . Para partículas de mayor tamaño no hay datos experimentales y por tanto, no se recomienda el empleo de dicho convenio.
- Pueden utilizarse otros métodos, siempre que den lugar a conclusiones semejantes o de mayor rigor que los convenios de la norma UNE-EN 481. Los muestreadores de la *fracción respirable* que se utilicen para la toma de muestra del aerosol se pueden adecuar al convenio para la toma de muestra de la fracción respirable definido en la norma UNE-EN 481 o al convenio de Johannesburgo (curva BMRC).

6. ALGUNAS ACLARACIONES SOBRE LOS TÉRMINOS UTILIZADOS EN LA DEFINICIÓN DE LAS FRACCIONES

Los términos usados actualmente para definir las fracciones y los convenios, se han utilizado anteriormente con significados cualitativos o cuantitativos diferentes, por tanto, es importante clarificarlo y evitar la utilización de términos que puedan llevar a confusión.

En el contexto de toma de muestra ambiental debe utilizarse preferentemente el término aerosol frente a "partículas sólidas y líquidas". Si se utiliza este último término conviene precisar que son aquéllas que "están suspendidas en el aire".

El término "aerosol total" NO es equivalente a términos utilizados con anterioridad como "*polvo total*" o "*partículas totales*". Aerosol total se define como "todas las partículas en suspensión que se encuentran en un volumen dado de aire". Esta definición de aerosol total no depende ni del instrumento de muestreo, ni del comportamiento o penetración de las partículas en el organismo. En el pasado, en la mayoría de los países, las recomendaciones para la toma de muestra de los aerosoles se basaban en el concepto de "polvo total" o "partículas totales" pero estos términos correspondían a las partículas captadas por un determinado instrumento de muestreo. Por ejemplo, la ACGIH consideraba como "partículas totales" a aquellas partículas recogidas con la cassette de poliestireno de 37 mm, cerrada. En el Reino Unido, las partículas que se recogían con el muestreador de 7 orificios se consideraban como "polvo total". Por tanto, se desaconseja el uso de los términos "polvo total" y "partículas totales" ya que pueden llevar a confusión.

En la actualidad, el término "inhalable" está adoptado internacionalmente para designar a la fracción de la masa del aerosol total que se inhala a través de la nariz

y la boca. Aunque los términos inhalable e inspirable se consideran equivalentes, se recomienda evitar la utilización de términos usados con anterioridad como partículas inspirables, masa inspirable o fracción inspirable.

El concepto y el término “respirable” han estado siempre asociados a las partículas que se depositan en la región alveolar o no ciliada aunque su definición cuantitativa, es decir, el convenio correspondiente, ha ido cambiando con el tiempo.

En el campo del Medio Ambiente también se describen distintas fracciones del aerosol como son la PM_{10} y la $PM_{2.5}$. La fracción PM_{10} , corresponde a aquellas partículas que penetran al árbol traqueobronquial y a la zona de intercambio de gases en los pulmones. La curva que define la PM_{10} es similar al convenio de la fracción torácica. La fracción $PM_{2.5}$ se define como la fracción de partículas cuyo diámetro aerodinámico es inferior a $2,5 \mu m$ y se generan en procesos de combustión.

7. INSTRUMENTACIÓN PARA LA TOMA DE MUESTRA DE AEROSOLES

Los sistemas de *toma de muestra de aerosoles* constan, en general, de un *muestreador* que selecciona la fracción por tamaño de partícula del aerosol de interés, un *elemento de retención* que recoge las partículas del aerosol que han entrado en el muestreador y una *bomba de muestreo*. En la mayoría de los modelos existentes en el mercado, el elemento de retención se coloca dentro del muestreador y la bomba de muestreo es externa aunque existe algún modelo en el que la bomba de aspiración está integrada en el muestreador.

La instrumentación para la toma de muestra se debe seleccionar teniendo en cuenta los objetivos de la medición y la fracción del aerosol para la que está establecido el límite de exposición profesional.

Para que las mediciones de aerosoles cumplan los requisitos generales de la norma UNE-EN 482, los muestreadores deben cumplir los requisitos de la norma UNE-EN 13205 lo que a su vez implica, que el muestreador sea capaz de tomar muestras de aerosol de acuerdo con el convenio correspondiente (inhalable, torácico, respirable) definido en la norma UNE-EN 481 (Véase CR-03/2006 y NTP 731). La norma UNE-EN

13205 va dirigida a fabricantes y usuarios de los muestreadores. El usuario puede utilizar los requisitos contenidos en esta norma, tanto de cara a su adquisición como para la selección del muestreador a utilizar.

8. MUESTREADORES DE FRACCIONES POR TAMAÑO

Los muestreadores seleccionan las fracciones por tamaño de partícula del aerosol (inhalable, torácica, respirable) con diferentes eficacias dependiendo del tamaño de las partículas y que, idealmente, deben corresponder a la eficacia del convenio que pretenden muestrear.

Los muestreadores personales pueden seleccionar una única fracción o varias fracciones del aerosol simultáneamente, dependiendo del diseño.

La tabla 3 del CR 03/2006 resume los requisitos de los muestreadores de fracciones establecidos en la norma UNE-EN 13205 necesarios para que el muestreador cumpla con el convenio apropiado de la norma UNE-EN 481. Con relación a la adecuación a los convenios, el parámetro fundamental es la *exactitud* del muestreador que *debe ser inferior o igual al 30%* promediada para todas las velocidades de viento. La exactitud depende de la eficacia de muestreo y de la variabilidad de los muestreadores.

Los *principales factores* que afectan a la eficacia de muestreo son la distribución por tamaño de partícula del aerosol total y la velocidad y dirección del viento. En algunos tipos de muestreadores también resultan importantes las diferencias entre los distintos ejemplares de un mismo muestreador, las variaciones del caudal de muestreo y los elementos de retención que se utilicen para recoger las partículas. Entre las variables que afectan en menor medida a la eficacia de muestreo se encuentran la composición del aerosol, la masa de aerosol muestreada y la carga del aerosol. En la tabla 1, se indican los principales factores que afectan a la eficacia de muestreo de los muestreadores.

La eficacia de muestreo depende también, de forma decisiva, del caudal de muestreo que a su vez, también está influenciado por el elemento de retención utilizado (véase NTP 799). El fabricante debe incluir, en las instrucciones de uso, información sobre las características

FACTOR	NATURALEZA DEL EFECTO
Tamaño de las partículas	Selección de las partículas en función del tamaño.
Velocidad del viento	La velocidad del viento en el orificio de entrada influye en la aspiración, especialmente para valores elevados y partículas grandes.
Dirección del viento	La orientación del viento en el orificio de entrada influye en la aspiración.
Composición del aerosol	Rebote y re-arrastre de las partículas; ruptura de los aglomerados.
Masa de aerosol muestreada	La eficacia de recogida del aerosol varía en las superficies muy colmatadas.
Carga del aerosol	Atracción o repulsión de las superficies.
Variabilidad de los muestreadores	Una diferencia dimensional pequeña produce un efecto aerodinámico grande.
Variaciones del caudal	El mecanismo de separación de las partículas depende fuertemente del caudal.
Tratamientos de superficie	La eficacia de recogida puede verse afectada por los tratamientos superficiales realizados a los muestreadores.

Tabla 1. Principales factores que afectan a la eficacia de muestreo de los muestreadores.

de la bomba de muestreo y del elemento de retención a utilizar con el muestreador.

Es conveniente que el usuario solicite al fabricante el informe de los ensayos efectuados al muestreador con el fin de verificar que cumple los requisitos de las normas citadas anteriormente. Esta información resulta esencial para todos aquellos muestreadores que no estén incluidos en el documento CR-03/2006 ya que dicho documento proporciona esta información para los muestreadores citados en él.

Limitaciones de uso de los muestreadores

Los muestreadores de las distintas fracciones del aerosol pueden presentar en algunos casos dificultades en el cumplimiento de los requisitos de las normas anteriormente citadas. En la tabla 2, se indican los factores que afectan de manera importante a los muestreadores, según la fracción a muestrear, para el cumplimiento con el correspondiente convenio.

La velocidad de viento alta, la presencia de partículas grandes en el aerosol, las concentraciones elevadas del aerosol, las pérdidas durante el transporte del muestreador hasta el laboratorio de análisis así como el desplazamiento de las partículas entre las distintas fracciones del aerosol captadas por el muestreador, conllevan a una subestimación de la fracción del aerosol captada por el muestreador y por tanto, la toma de muestra del aerosol no es válida.

Instrucciones de uso de los muestreadores

Un requisito de los muestreadores, de importancia para el usuario, es que los muestreadores se deben suministrar acompañados de las correspondientes instrucciones de uso. Las instrucciones contienen información del máximo interés de cara a realizar mediciones válidas y adecuadas (fiables). Deben incluir información relacionada con:

- La adecuación del muestreador al convenio para la toma de muestra correspondiente,
- Las limitaciones en la utilización del instrumento así como las distribuciones por tamaño de partícula de los aerosoles, velocidades del viento y otras condiciones de funcionamiento, en las que el muestreador cumple los requisitos de exactitud.

- Instrucciones sobre la manera de poner en marcha el instrumento y cómo se fijan los parámetros de operación, especificando el caudal de muestreo previsto.
- El intervalo de temperaturas para el almacenamiento y el funcionamiento adecuado del instrumento.
- En el caso en el que sea necesario el uso de una bomba externa se indicarán los requisitos que tiene que cumplir (caudal, pérdida de carga, pulsación), las baterías y el cargador de baterías recomendados y el tiempo de funcionamiento con las baterías completamente cargadas, en las condiciones de funcionamiento habituales.
- Información sobre el elemento de retención a utilizar para la recogida de las partículas (diámetro del filtro, material, tamaño de poro).
- Información sobre las operaciones de mantenimiento, limpieza y calibración del instrumento,
- Advertencias sobre los problemas conocidos que pueden darse durante la utilización del instrumento (orientación, choques mecánicos) y
- La prohibición del empleo del muestreador en ciertas condiciones, por ejemplo, en atmósferas explosivas, si procede.

Muestreadores personales recomendados

Los muestreadores personales que se indican, con carácter informativo, en el documento técnico CEN/TR 15230 y por tanto, cumplen aceptablemente con los requisitos de las normas anteriores para algunas condiciones ambientales, son los siguientes:

- Para la fracción inhalable: IOM, PGP-GSP 3,5, PGP-GSP 10, CIP 10-I, BUTTON y PAS-6. Entre ellos, *no se encuentran la cassette de poliestireno de 37 mm, ni cerrada*, muestreador utilizado de forma habitual en España, ni abierta, por lo que *no deberían utilizarse* ya que no cumplen con los requisitos de las normas citadas anteriormente.
- Para la fracción torácica: CIP 10-T y GK2.69
- Para la fracción respirable: IOM Multidust, CIP 10-R, GK2.69, SIMPEDS, ciclón de polvo respirable (BGI), ciclón de aluminio (SKC), ciclón de plástico conductor (SKC), PGP-FSP 2, PGP-FSP 10 y el ciclón de nylon de 10 mm, siendo este último el utilizado en España hasta la fecha. Tal como se ha mencionado

Factor	Dificultades en el cumplimiento de los requisitos de las normas			
	Muestreadores Frac. inhalable	Muestreadores Frac. torácica	Muestreadores Frac. respirable	Muestreadores Multifracción
Velocidad de viento alta	Sí p.e. minas, trabajo en exterior	Sí		Sí p.e. minas, trabajo en exterior
Partículas grandes	Sí p.e. trabajos con madera, industria textil			Sí p.e. trabajos con madera, industria textil
Concentraciones elevadas del aerosol		Sí	Sí	Sí
Pérdidas en el transporte de las muestras	Sí	Sí	Sí	Sí
Desplazamiento de partículas entre fracciones				Sí

Tabla 2. Factores que afectan al cumplimiento de los muestreadores con los requisitos de las normas

anteriormente, la norma UNE-EN 481 permite utilizar otros métodos siempre que den lugar a conclusiones semejantes o de mayor rigor que los convenios de dicha norma. En el caso de los muestreadores de la fracción respirable se permite el uso de aquellos muestreadores que se adecuen al convenio de la fracción respirable definido en la norma UNE-EN 481 o bien al convenio de Johannesburgo (curva BMRC).

- Para los muestreadores multifracción: IOM Multidust y Respicon.

Los muestreadores citados se muestran en CR-03/2006 y NTP 764 y 765. Es muy importante tener en cuenta que no todos los muestreadores cumplen con los requisitos para todas las posibles condiciones ambientales. Por tanto, *el usuario debe comprobar que el muestreador tiene un comportamiento aceptable en las condiciones en las que se va utilizar.*

Como ayuda a la elección del muestreador de la fracción inhalable, se pueden consultar las tablas 7, 8 y 9 del CR-03/2006. En la tabla 7, se recogen las características de cada muestreador, el caudal de muestreo, el tipo de elemento de retención que recomienda el fabricante, la determinación analítica que se realizará y finalmente, el nombre del fabricante del muestreador y su página web. La tabla 8 recoge el comportamiento de los muestreadores basado en las referencias bibliográficas citadas en el informe técnico CEN/TR 15230 para diferentes condiciones ambientales. Para cada referencia bibliográfica, se indican los muestreadores que se han utilizado en el estudio así como las condiciones ambientales en las que se ha llevado a cabo (velocidad y dirección del viento, tamaño de las partículas y si el ensayo ha sido realizado en el laboratorio (L) o en un lugar de trabajo (C)). Asimismo se incluye un resumen del comportamiento del muestreador en esas condiciones ambientales, indicando si se adecua al convenio para la toma de muestra de la fracción inhalable o no.

En la tabla 3, que reproduce la tabla 9 del CR-03/2006, se resume el comportamiento de los muestreadores de la fracción inhalable recomendados por la Unión Europea basado en la información bibliográfica disponible citada anteriormente. Hay que tener en cuenta que, en algunos casos, esta información es muy limitada y por tanto debe tomarse con cautela, como una primera aproximación a la elección del muestreador. Se han considerado los principales factores que afectan a la eficacia de muestreo del muestreador como son el tamaño de la partícula y la velocidad y dirección del viento. Cuando el muestreador se adecua al convenio de la fracción

inhalable se indica con el símbolo (**). Cuando el factor a considerar influye en el comportamiento del muestreador se indica con el símbolo (*). En los casos en los que el muestreador no se adecua al convenio de la fracción inhalable se indica con el símbolo (•). El muestreador CIP 10-I presenta un comportamiento similar al IOM, para concentraciones bajas (♦). El IOM no se adecua al convenio de la fracción inhalable para partículas con diámetros aerodinámicos superiores a 70 µm (•).

Muestreadores estáticos recomendados

Los muestreadores estáticos pueden utilizarse en la toma de muestra de aerosoles cuando el objetivo de la medición es proporcionar información sobre la localización e intensidad de una fuente de emisión, o sobre las concentraciones y tendencias de la concentración del aerosol en la atmósfera del lugar de trabajo. Asimismo, también pueden usarse con el objetivo de conocer la efectividad de las medidas de control llevadas a cabo en el lugar de trabajo. Pero en ningún caso, los muestreadores estáticos se utilizarán para evaluar la exposición personal a los aerosoles.

Los muestreadores estáticos que se indican, con carácter informativo, en el documento técnico CEN/TR 15230 y por tanto, cumplen aceptablemente con los requisitos de las normas anteriores para algunas condiciones ambientales, son los siguientes:

- Para la fracción inhalable: Cathia-I, PM 4, ESK50 y VC-25G.
- Para la fracción torácica: Cathia-T y MPG III-T.
- Para la fracción respirable: Cathia-R, PM4 F, MPG II, MPG III, MRE 113A, VC25 F y VC 25I.

Al igual que para los muestreadores personales, es muy importante tener en cuenta que no todos los muestreadores cumplen con los requisitos para todas las posibles condiciones ambientales. Por tanto, *el usuario debe comprobar que el muestreador tiene un comportamiento aceptable en las condiciones en las que se va utilizar.*

En la tabla 4 se recogen las características de cada muestreador como son el caudal de muestreo, el tipo de elemento de retención que recomienda el fabricante, el nombre del fabricante del muestreador y su página web. En todos los muestreadores, para la determinación analítica se consideran las partículas depositadas en el filtro.

Factor		Muestreador					
		IOM	PGP-GSP 3,5	PGP-GSP 10	BUTTON	CIP 10-I	PAS-6
Tamaño de partícula	0,5 m/s	** d > 70 µm •		**	♦		
Velocidad del viento	0,5 m/s	**	**	**	**	•	**
	1,0 m/s	**	**		**	•	
Dirección del viento	0,5 m/s	•	*	•	**		

** El muestreador se adecua al convenio de la fracción inhalable.
 * El factor influye en el comportamiento del muestreador.
 • El muestreador no se adecua al convenio de la fracción inhalable.
 ♦ Comportamiento similar al IOM.

Tabla 3. Resumen del comportamiento de los muestreadores de la fracción inhalable recomendados por la Unión Europea.

Muestreadores estáticos	Muestreador	Caudal de muestreo	Elemento de retención	Fabricante
De la fracción inhalable	Cathia-I	10 l/min	Filtros de membrana de éster de celulosa (MCE)	Arelco www.arelco.fr
	PM 4	4 m ³ /h	Filtros de membrana de nitrato de celulosa o fibra de vidrio	GSM www.gsmneuss.com
	ESK50	50 l/min	Filtros de aluminio	DEHA www.deha-gmbh.de
	VC-25G	22,5 m ³ /h	Filtro de fibra de vidrio	GSM www.gsm-neuss.com
De la fracción torácica	Cathia-T	7 l/min	Filtros de membrana de éster de celulosa (MCE)	Arelco www.arelco.fr
	MPG III-T	55 l/min	Filtros de aluminio	DEHA www.deha-gmbh.de
De la fracción respirable	Cathia-R	10 l/min	Filtros de membrana de éster de celulosa (MCE)	Arelco www.arelco.fr
	PM4 F	4 m ³ /h	Filtros de membrana de nitrato de celulosa o fibra de vidrio	GSM www.gsm-neuss.com
	MPG II			DEHA www.deha-gmbh.de
	MPG III	46,5 l/min	Filtros de aluminio	DEHA www.deha-gmbh.de
	MRE 113A			Casella www.casella-es.com
	VC25 F	22,5 m ³ /h	Filtro de membrana de 8 µm	GSM www.gsm-neuss.com
	VC25 I	22,5 m ³ /h	Filtro de membrana de 8 µm	GSM www.gsm-neuss.com

Tabla 4. Muestreadores estáticos de las fracciones del aerosol recomendados por la Unión Europea

9. ELEMENTOS DE RETENCIÓN

Los elementos de retención son normalmente filtros o espumas de diferentes características (material de construcción y tamaño de poro diferentes). Pueden ir incorporados en el muestreador o ser externos a él. En la NTP 799 se indican los diferentes elementos de retención disponibles en el mercado y los criterios que hay que considerar en su selección. Algunos aspectos a considerar son los siguientes:

- El usuario debe seleccionar el elemento de retención adecuado a la medición a realizar entre los recomendados por el fabricante. En caso de utilizar uno diferente, será necesario comprobar que la pérdida de carga que origina no es superior a la pérdida de carga que la bomba de muestreo puede soportar para mantener el caudal constante durante el muestreo (Véase NTP 799).
- La elección del tipo de filtro debe también tener en cuenta el análisis posterior de las muestras que se requiere (análisis gravimétrico, análisis microscópico o análisis químico) de acuerdo con el método de toma de muestra y análisis seleccionado.
- Para las determinaciones gravimétricas resultan más adecuados los filtros de fibra de vidrio y de cuarzo ya que no les afecta la humedad, ni las cargas electrostáticas.

- El análisis microscópico requiere que las partículas se recojan en una superficie uniforme, resultando apropiados para ello los filtros de membrana.
- Cuando la determinación analítica a realizar es el análisis químico del filtro, la selección del tipo de filtro 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.
- Además de los filtros, también pueden utilizarse como elemento de retención de las partículas del aerosol, las espumas de poliuretano. Estas espumas se utilizan para el análisis gravimétrico pero no hay suficiente información sobre su adecuación para el análisis químico.

10. BOMBAS DE MUESTREO

El muestreador necesita de una bomba de aspiración de aire para su funcionamiento. Algunos muestreadores tienen la bomba integrada, pero la mayoría requieren una bomba externa.

Para las tomas de muestra personales de aerosoles, las bombas de muestreo deben ser del tipo P, de acuerdo con la clasificación de la norma UNE-EN 1232, y cumplir

sus requisitos (Véase CR-01/2005). El rango de caudal máximo en el que operan habitualmente es de 1 l/min a 5 l/min.

Debido a la influencia del caudal en la eficacia del muestreo selectivo de fracciones de aerosoles, deben utilizarse únicamente los caudales recomendados por el fabricante y es, especialmente importante, asegurar que el caudal se mantiene constante durante el muestreo.

En las tomas de muestra en un lugar fijo, pueden utilizarse bombas de muestreo que operan a caudales superiores a 5 l/min debiendo cumplir las especificaciones que se indican en la norma UNE-EN 12919.

La conexión de la bomba de muestreo externa y el muestreador se realiza mediante un tubo de plástico, flexible. Es recomendable utilizar tubos de *Tygon* ya que presentan menores efectos electrostáticos que los de *Teflón* (politetrafluoroetileno) o los de *Polyflo* (polietileno).

BIBLIOGRAFÍA

- (1) **CR-03/2006.** Criterios y recomendaciones. Toma de muestra de aerosoles. Muestreadores de la fracción inhalable de materia particulada.
INSHT, 2006
- (2) **CR-01:2005.** Criterios y recomendaciones. Bombas de muestreo personal para agentes químicos.
INSHT, 2005
- (3) INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO
Límites de exposición profesional para agentes químicos en España.
INSHT, 2008
- (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 aerosoles.
- (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) **NORMA UNE 77213:1997.** Calidad del aire. Definición de las fracciones de los tamaños de partículas para el muestreo asociado a problemas de salud.
- (8) **NORMA UNE-EN 12919: 2000.** Atmósferas en el lugar de trabajo. Bombas para el muestreo de los agentes químicos con un caudal volumétrico superior a los 5 l/min. Requisitos y métodos de ensayo.
- (9) **NORMA UNE-EN 13205:2002.** Atmósferas en el lugar de trabajo. Evaluación del funcionamiento de los instrumentos para la medición de concentraciones de aerosoles.
- (10) **NORMA UNE-EN 482:2007.** Atmósferas en el lugar de trabajo. Requisitos generales relativos al funcionamiento de los procedimientos para la medida de agentes químicos.
- (11) **CEN/TR 15230:2005.** Workplace atmospheres. Guidance for sampling of inhalable, thoracic and respirable aerosol fractions.
- (12) WILLEKE, K AND BARON, P.A.
Aerosol measurement.
Ed. Van Nostrand Reinhold, 1993

