

## Evaluación de la exposición laboral a aerosoles (II): muestreadores personales de las fracciones del aerosol

*Évaluation de l'exposition professionnelle aux aérosols. Échantillonneurs personnels des fractions de l'aérosol.  
Occupational exposure assessment to aerosols. Personal samplers for the aerosol fraction.*

### Redactor:

Antonio Martí Veciana

Ldo. en Ciencias Químicas y Farmacia

CENTRO NACIONAL DE  
CONDICIONES DE TRABAJO

*En la NTP 731 se expusieron los aspectos más importantes de las Normas UNE-EN 481, UNE-EN 13205 y UNE-EN 482, así como de la Guía CEN/TR 15230 y los Criterios y recomendaciones CR-03/2006 del INSHT, documentos considerados básicos, en su conjunto, para la evaluación de las exposiciones a aerosoles. En la presente NTP se expone una relación de muestreadores disponibles en el mercado, para las distintas fracciones de los aerosoles, así como las características más destacables de los muestreadores personales de la fracción inhalable.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Está disponible en el mercado una amplia variedad de muestreadores para captar las distintas fracciones de los aerosoles (ver NTP 583 y 731), tanto de manera separada como conjunta (multifracciones). Asimismo, existe abundante bibliografía, la más importante de la cual se referencia en el correspondiente apartado, en la que se analiza los aspectos principales de los muestreadores más habitualmente utilizados: resultados de la experimentación de nuevos muestreadores; eficacias de captación en ensayos de laboratorio; estudios comparativos entre los muestreadores de la fracción inhalable y los que se han venido utilizando tradicionalmente para "polvo total" (como el clásico cassette de 37 mm); y eficacia de los muestreadores en distintas condiciones ambientales, con materias particuladas de diferentes naturalezas o en actividades industriales diversas.

No existe en el mercado un muestreador personal que pueda considerarse plenamente satisfactorio para cualquier situación ambiental posible, aunque la mayor parte suelen tener un comportamiento aceptable, en relación a los criterios exigidos.

## 2. ASPECTOS QUE INFLUYEN EN LOS MUESTREADORES

Los muestreadores de los aerosoles, cuando se utilizan en "campo", suelen cumplir con más dificultad las especificaciones que se establecen en los ensayos de laboratorio, principalmente en túneles de viento, para satisfacer los requerimientos de las normas. Ello es debido básicamente a la existencia de corrientes de aire o vientos fuertes, a la proyección de partículas de elevado tamaño, a irregularidades en la distribución del tamaño de las partículas e, incluso, a alteraciones durante el transporte de las muestras (1).

En las referencias bibliográficas 2 y 3 se indican los factores de corrección recomendados para adecuar la efi-

ciacia de muestreo del muestreador al convenio para la toma de muestra de la fracción inhalable en unas determinadas condiciones (ensayos en túneles de viento, aerosol monodisperso, velocidad del viento).

A continuación se comentan los principales aspectos que pueden afectar la eficacia de captación de los muestreadores, especialmente para la fracción inhalable.

### Dirección del aire

Los muestreadores tienden a una sobrevaloración de las partículas de mayor tamaño (superiores a 20  $\mu\text{m}$ ) cuando la dirección del aire coincide con la dirección de la aspiración (0°), y a una infravaloración cuando es lateral (90°) o contraria (180°) (4).

### Velocidad del aire

El mejor comportamiento de los muestreadores se observa a bajas velocidades de aire, inferiores a 1 m/s, existiendo una velocidad óptima alrededor de los 0,5 m/s, velocidad considerada habitual en ambientes interiores sin corrientes de aire. La eficacia de captación tiende a decrecer cuando la velocidad del aire aumenta y también a velocidades muy bajas, aunque éstas no suelen ser habituales en ambientes laborales (2-4).

### Tamaño de las partículas

Las partículas de mayor tamaño son las más afectadas por las variaciones de la velocidad del aire, con, lógicamente, una mayor incidencia en los muestreadores de la fracción inhalable, menor en los de la fracción torácica, y muy pequeña en los de la fracción respirable, excepto cuando la velocidad del aire es muy elevada (5).

En las actividades laborales en que se generan partículas grandes, superiores a 100  $\mu\text{m}$ , como ocurre en los trabajos con madera y en operaciones de molturación y chorreado, estas partículas pueden proyectarse o intro-

ducirse por deposición en los muestreadores de la fracción inhalable provocando una sobrevaloración del resultado de la medición (5-6), especialmente en aquéllos cuyo orificio de entrada sea grande (7).

### Gradientes en la concentración ambiental

La falta de uniformidad en el tamaño de las partículas crea gradientes de concentración. Comparando mediciones efectuadas a ambos lados de la solapa de personas expuestas a aerosoles, se han obtenido diferencias entre sí de hasta el doble, con una probabilidad del 95 % (8). Ello minimiza, en parte, las diferencias observadas entre las eficacias de captación de algunos muestreadores, aunque esta variabilidad se puede traducir en un elevado grado de incertidumbre de los resultados.

### 3. MUESTREADORES DE AEROSOLES

Una relación de muestreadores que pueden satisfacer los requerimientos de las normas UNE-EN 481 y UNE-EN 13205 se pueden encontrar en la Guía CEN/TR 15230 (1) y en el documento Criterios y recomendaciones CR-03/2006 del INSHT (3), en los que se recomienda que los potenciales usuarios de los muestreadores consulten las referencias bibliográficas y evalúen el muestreador seleccionado para verificar que su comportamiento en las condiciones ambientales en las que se pretenda usar.

En la Tabla 1 se expone una relación de los muestreadores con indicación de la página web de los fabricantes y suministradores. La Tabla incluye los muestreadores citados en la Guía, pero también los utilizados en la UE y recomendados en métodos analíticos de referencia.

FRACCIÓN AEROSOL	DENOMINACIÓN MUESTREADOR	FABRICANTE	WEB FABRICANTE o SUMINISTRADOR
Inhalable	IOM	SKC (UK)	www.skcltd.com www.vertex.es www.casella-es.com
	PGP-GSP 3,5	GSM (G)	www.gsm-neuss.com www.deha-gmbh.de
	PGP-GSP10	GSM (G)	www.gsm-neuss.com www.deha-gmbh.de
	CIS	BGI (USA)	www.bgiusa.com www.casella-es.com
	Seven Hole Sampler, SHS ó 7HH	Casella (UK) SKC (UK) JS Holding (UK)	www.casella-es.com www.vertex.es www.jsholdings.co.uk
	CIP10-I	Arelco (F)	www.arelco.fr
	BUTTON Sampler	SKC (UK)	www.skcltd.com www.vertex.es
	PAS-6	IRAS-UU (N)	www.iras.uu.nl
Torácica	CIP10-T	Arelco (F)	www.arelco.fr
	GK2.69	BGI (USA)	www.bgiusa.com
	PEM200	MSP (USA)	www.mspscorp.com www.vertex.es
Respirable	Ciclón nylon 10 mm	SENSIDYNE (USA)	www.sensidyne.com www.zefon.com
	Ciclón de polvo respirable	BGI (USA)	www.bgiusa.com
	GK2.69	BGI (USA)	www.bgiusa.com
	Ciclón de plástico conductor	SKC (UK) Casella (UK)	www.skcltd.com www.vertex.es www.casella-es.com
	Ciclón de aluminio	SKC (UK)	www.skcltd.com www.vertex.es
	PGP-FSP 2 y PGP-FSP 10	GSM (G)	www.gsm-neuss.com www.deha-gmbh.de
	IOM Multidust	SKC (UK)	www.skcltd.com www.vertex.es
	CIP10-R	Arelco (F)	www.arelco.fr
Multifracciones	IOM Multidust	SKC (UK)	www.skcltd.com www.vertex.es
	Respicon	Hund (G) TSI (USA)	www.hund.de www.tsi.com www.nusim.com
	Perspec	No localizado	No disponible

Tabla 1. Muestreadores personales para las distintas fracciones de los aerosoles

#### 4. MUESTREADORES DE LA FRACCIÓN INHALABLE

Las principales características y los aspectos más destacables de los distintos muestreadores personales de la fracción inhalable, citados en la Tabla 1, se indican a continuación. En la Tabla 2 se resumen las características operativas diferenciales entre los distintos muestreadores de la fracción inhalable.

##### IOM (Muestreador Institute of Occupational Medicine)

###### Características

Muestreador de la fracción de partículas inhalables, desarrollado por D. Mark y J.H. Vincent en el Institute of Occupational Medicine de Edimburgo, Reino Unido, en 1986 y fabricado por la firma SKC.

Está constituido por una cabeza plástica que contiene un portafiltras o cassette de plástico reutilizable con un filtro de 25 mm, cuya naturaleza depende del procedimiento analítico a aplicar: fibra de vidrio GF/A; PVC 5  $\mu\text{m}$ ; esteres de celulosa AA 0,8  $\mu\text{m}$  o policarbonato 0,8  $\mu\text{m}$ . Es un muestreador ligero (~55 g) y cómodo de usar, que incluye una tapa para facilitar la integridad de la muestra durante su transporte.

Existen diversas versiones de este muestreador. La primera, era de plástico no conductor, de color castaño, y fue sustituida posteriormente por material de plástico conductor y de color negro, cuyo aspecto puede apreciarse en la Figura 1. La versión en acero inoxidable tiene mayor resistencia y no absorbe humedad, si bien su tara en las determinaciones gravimétricas es superior.



Figura 1. Muestreador IOM

El aire es aspirado a través del orificio circular de 15 mm de diámetro del muestreador, conectado a una bomba personal a un caudal de  $2 \pm 0,1$  l/m y las partículas se depositan en un filtro de 25 mm. El análisis gravimétrico, se lleva a cabo por diferencia de pesadas de la unidad cassette-filtro. Las recomendaciones básicas son: utilizar guantes y pinzas en las manipulaciones, equilibrar el conjunto filtro-cassette en un ambiente de humedad controlada (no en un desecador), así como incluir en cada lote de muestras a analizar varias "muestras blanco" (9).

###### Aspectos destacables

Es un muestreador muy utilizado en América y en Europa, especialmente en el Reino Unido y en los países nórdicos, para polvo de madera. Se utiliza frecuentemente como muestreador de referencia (10-15) y se ha empleado satisfactoriamente en fundiciones y refinerías y en las industrias de productos alimenticios y farmacéuticos.

Al pesarse filtro y cassette juntos todas las partículas que han penetrado a través del orificio de entrada forman parte de la muestra y son pesadas en el análisis, estén recogidas sobre el filtro, depositadas en las paredes o, incluso, desprendidas.

Los estudios de eficacia de captación en laboratorio indican una buena conformidad con el convenio de la frac-

ción inhalable para velocidades del viento de 0,5 m/s y 1 m/s (2-3). Su comportamiento es relativamente independiente de la velocidad del viento para partículas con un diámetro aerodinámico de hasta 75  $\mu\text{m}$ , aunque con velocidades del aire bajas, presentan una desviación positiva con respecto al convenio inhalable. En algunos ensayos la precisión no ha resultado muy buena.

Juntamente con los muestreadores GSP y CIP10-I, que se verán más adelante, es de los que mejor cumple el convenio de muestreo de la fracción inhalable (10).

Presenta una sobrevaloración de las partículas de mayor tamaño cuando la dirección del viento coincide con la dirección de aspiración ( $0^\circ$ ), y una infravaloración cuando la orientación del viento es de  $90^\circ$  y  $180^\circ$  (4).

El orificio de entrada amplio, de 15 mm de diámetro, facilita la penetración de partículas grandes (superiores a 100  $\mu\text{m}$ ) por proyección, fenómeno que puede ser significativo en exposiciones a polvo de madera, y también facilita la deposición pasiva de partículas, que según estudios experimentales puede ser del orden del 9 al 32 % de la captación activa (7). En ambos casos, la captación de estas partículas conlleva una sobrevaloración ambiental.

En las determinaciones gravimétricas, si bien la masa del filtro es estable, a causa de la absorción de vapor de agua por parte del material plástico del cassette, pueden verse afectados los resultados de la medición con variaciones de hasta 2 mg. Dado que esta absorción depende de las condiciones ambientales de su almacenamiento, se recomienda acondicionar el cassette en el cuarto de balanzas o, preferiblemente, en una atmósfera de humedad controlada, una semana antes y después del muestreo, así como utilizar "muestras blanco" para la corrección. Los cassettes de acero inoxidable, en cambio, no resultan afectados por la humedad ambiental, siendo recomendables cuando interesa reducir la imprecisión de las mediciones por debajo de 0,05 mg (9-10,16).

Es aplicable para el muestreo de bioaerosoles, utilizando un filtro de naturaleza adecuada, como policarbonato esterilizado.

Existe una variante del IOM que permite el muestreo y la determinación simultánea de la fracción respirable e inhalable de los aerosoles.

##### Muestreadores cónicos

Se conocen diversos muestreadores de forma cónica diseñados para captar la fracción inhalable, tales como: el GSP de origen alemán, el CIS de USA, y el PAS-6 holandés.

El **PGP-GSP** es la versión europea más conocida de muestreador cónico para materia particulada inhalable, fabricado por GSM Messgerätebau con licencia del Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA (República Federal de Alemania). Originalmente, se construyó de metal fundido, con una entrada cónica de aluminio. Actualmente también existe la versión en plástico antiestático. Ver la Figura 2.

El aerosol se aspira a un caudal de  $3,5 \pm 0,1$  l/m a través de un orificio circular de 8 mm de diámetro. El muestreador contiene un portafiltras tipo cassette, provisto de un filtro de 37 mm de fibra de vidrio, de PVC 5  $\mu\text{m}$ , de teflón 2  $\mu\text{m}$  o de membrana, según la metodología analítica a seguir; también en este modelo la muestra esta constituida por el conjunto de soporte y filtro. Una variante es el **PGP-GSP 10**, cuyo caudal de 10 l/m, posibilita tiempos de captación mucho más cortos o mejorar los

límites de detección. La propia firma GSM dispone de una bomba portátil **SG 10** que permite ajustar el volumen entre 3,5 y 10 l/m ( $\pm 5\%$ ).

El muestreador **CIS** (*Conical Inhalable Sampler*), muy similar al PGP-GSP 3,5, es fabricado por la firma BGI, Inc, Massachussets (USA) y es considerado como la versión americana. Es de plástico conductor y tiene una sección cónica frontal, con un orificio de 8 mm. El caudal es de  $3,5 \pm 0,1$  l/m y la muestra se capta en un filtro de 37 mm montado en un portafiltros reutilizable. Ver la Figura 3.



Figura 2. Muestreador PGP-GSP 3,5



Figura 3. Muestreador cónico CIS

Finalmente, el **PAS-6** es otro muestreador de tipo cónico desarrollado en Holanda (Institute of Risk Assessment Sciences), que tiene una geometría parecida al muestreador PGP-GSP 3,5 y al CIS. Es de naturaleza metálica y capta las partículas inhalables de los aerosoles a un caudal de  $2 \pm 0,1$  l/m sobre un filtro de 25 mm, a través de un orificio de entrada de 6 mm de diámetro.

El PGP-GSP 3,5 se adecua al convenio para la toma de muestra de la fracción inhalable para velocidades del viento de 0,5 m/s y 1 m/s (2, 3) y se le considera como una alternativa al muestreador IOM (2, 17) y también se ha usado como muestreador de referencia (11).

La precisión de estos muestreadores es buena, habiéndose mostrado el PGP-GSP 3,5 como el mejor, entre un grupo 8 muestreadores ensayados, a velocidades de viento de 0,5 m/s y 1 m/s, y el segundo mejor a 4 m/s (1-2).

Como ya se ha indicado, el PGP-GSP 3,5 junto con el IOM y el CIP10-I, son de los que mejor cumplen el convenio de muestreo de la fracción inhalable (10).

Tanto el PGP-GSP 3,5 como el CIS son utilizados en las evaluaciones de polvo de madera, si bien la abertura del orificio de captación de 8 mm, les hace sensibles a las partículas más gruesas (6).

El muestreador PAS-6 se adecua al convenio para la toma de muestra de la fracción inhalable para velocidades del viento de 0,5 m/s (2-3). Ha participado en pocos estudios comparativos entre muestreadores (2, 10).

### CIP10

Es un muestreador desarrollado en Francia en la década de los 80 por CHECHAR (Centre d'Études et de Recherches de Charbonnage), actualmente INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques), comercializado por ARELCO (18).

Es de plástico conductor y dispone de una copa rotatoria a alta velocidad que contiene una espuma de poliuretano sobre la cual se captan las partículas. Es un equipo pequeño, ligero y compacto, de alrededor unos 300 g de peso, que lleva incorporado una bomba de muestreo interna y que puede utilizarse tanto para muestreos personales como ambientales. Dispone de varias versiones que posibilitan la captación individual de las distintas

fracciones, cambiando el selector, que puede contener espumas de distinta porosidad:

- **CIP10-I**: para captar la fracción inhalable, con un caudal de 10 l/min.
- **CIP10-T**: para captar la fracción torácica, con un caudal de 7 l/min.
- **CIP10-R**: para captar la fracción respirable, con un caudal de 10 l/min.
- **CIP10-M**: para captar microorganismos (por centrifugación sobre un líquido), aceptando los selectores de las distintas fracciones.

El aerosol se aspira a través del orificio de entrada anular omnidireccional protegido por una tapa para evitar la penetración de partículas no deseadas, como partículas grandes o gotas de agua. La determinación analítica de la fracción del aerosol es gravimétrica, por pesada de la tapa rotatoria junto con la espuma de poliuretano (19). Ver la Figura 4.

Es un muestreador diseñado para evaluar exposiciones a materia particulada en minas de carbón, canteras, ambientes industriales, y en el medio ambiente en general.

Se adecua al convenio de la fracción inhalable para bajas concentraciones y su captación no se ve sensiblemente afectada por la orientación del viento, excepto si la velocidad es alta y la dirección favorable, en cuyo caso se produce una sobrevaloración (2).

Junto con los muestreadores IOM y PGP-GSP 3,5 es de los que mejor cumple el convenio de muestreo de la fracción inhalable (10).

Los principales inconvenientes de este muestreador se deben al comportamiento higroscópico de la espuma y a los fenómenos electrostáticos. Es recomendable pesar simultáneamente varias "muestras blanco" y hacer las correcciones oportunas (10,19).



Figura 4. Muestreador Arelco

### Button Sampler

Es un muestreador diseñado para la fracción inhalable, desarrollado por la Universidad de Cincinnati (USA), fabricado y comercializado por la firma SKC. Es un muestreador de acero inoxidable y aluminio (para reducir los efectos electrostáticos en el muestreo), pequeño y ligero, de forma semiesférica, con orificios de 381  $\mu\text{m}$  de diámetro y cuya área global de muestreo es de 19,6  $\text{cm}^2$ . El caudal recomendado es de 4 l/min.

La firma SKC dispone de un adaptador para la calibración del muestreador. La muestra se capta sobre un filtro de 25 mm de diámetro, cuya naturaleza (fibra de vidrio, teflón, PVC, etc.) depende del aerosol y de la determinación analítica a realizar. Se recomiendan filtros con un tamaño de poro de 1  $\mu\text{m}$  o superior para reducir la pérdida de carga. Ver la Figura 5.

Su diseño presenta ventajas importantes frente a otros muestreadores, como el IOM y PGP-GSP 3,5 en lo que respecta a la eficacia de muestreo (11), debido principalmente a: verse poco afectado por la dirección y velocidad del viento, los escasos efectos electrostáticos, la mejor uniformidad en la deposición del aerosol sobre el filtro, y la minimización de la captación de partículas grandes no incluidas en la fracción inhalable ( $>> 100 \mu\text{m}$ ), por



Figura 5. Muestreador Button

proyección o sedimentación (7).

Su mejor concordancia con el convenio de la fracción inhalable, igual que ocurre con la mayoría de muestreadores, se ha observado a velocidades del aire alrededor de 0,5 m/s (11, 20).

Su exactitud es comparable a la del muestreador PGP-GSP 3,5 y más baja que la del IOM mientras su precisión es igual o mejor (11, 20). Se puede considerar como un muestreador alternativo al IOM.

El fabricante ha diseñado un escudo protector para el muestreador que le permite el muestreo de partículas de metales pesados en operaciones abrasivas con chorro, si bien no es adecuado para el muestreo de sílice libre, contaminante habitual también en estas operaciones.

Es muy utilizado para la captación de bioaerosoles (esporas fúngicas, endotoxinas y bacterias), utilizándose filtros de policarbonato o de membrana, como PVC o mezcla de esteres de celulosa (24).

### 7 agujeros (Seven-Hole-Sampler)

Este muestreador, con 7 orificios circulares de 4 mm de diámetro, conocido también por las siglas SHS, 7H ó 7HH (“7 Hole Head”), tiene un aspecto similar al muestreador IOM. El aire es aspirado a un caudal de  $2 \pm 0,1$  l/min, siendo recogida la muestra sobre un filtro de 25 mm de diámetro, apoyado sobre un soporte metálico y cuya naturaleza depende de la aplicación y análisis. Comercialmente, existen 3 versiones de este muestreador: una metálica (fabricante: Casella) y 2 en plástico (fabricantes: SKC y JS Holdings, UK). Ver en la Figura 6, el aspecto de la versión metálica.



Fig. 6. Muestreador SHS

Es utilizado en el Reino Unido para muestrear la fracción inhalable, recomendado por el HSE para el polvo inhalable (método MDHS 14/3).

Existe bastante información sobre él por haberse empleado en diversos estudios comparativos (2, 4, 6, 8).

Al igual que el IOM, tiende a una sobrevaloración de las partículas de mayor tamaño (superiores a 20  $\mu$ m) cuando la dirección del viento coincide con la dirección de aspiración (0°), y a una infravaloración cuando la orientación del viento es de 90 y 180° (4).

### 5. CONSIDERACIONES AL MUESTREO DE AEROSOL TOTAL CON CASSETTE

Tal como se recoge en el documento CR-03/2006 del INSHT (3), en el pasado, en la mayoría de los países, las recomendaciones para la toma de muestra de los aerosoles se basaron en el concepto de “aerosol total, polvo total o partículas totales”. Estos términos correspondían a las partículas captadas por un determinado instrumento de muestreo. Así, por ejemplo, la ACGIH consideraba como “partículas totales” a aquellas partículas recogidas con el cassette de poliestireno de 37 mm cerrado (los 2 tapones retirados durante la captación y orificio de entrada de 4 mm). Ver la Figura 7.

Con la publicación en 1995 de la Norma UNE-EN 481, los términos “aerosol total, polvo total o partículas totales”, considerados como anteriormente se han especificado, quedaron en desuso y lo que actualmente se considera son las distintas fracciones del aerosol (en dicha norma UNE-EN 481 “aerosol total” se define como todas las partículas en suspensión que se encuentran en un volumen dado de aire).

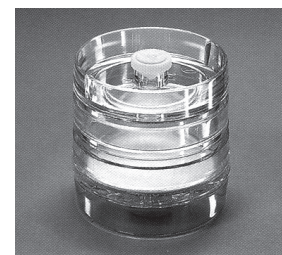


Figura 7. Cassette de 37 mm

En la actualidad el clásico cassette de poliestireno de 37 mm cerrado no está recomendado para la toma de muestra de la fracción inhalable de los aerosoles ya que no cumple con el convenio de dicha fracción. Ello se ha puesto de manifiesto en numerosos ensayos comparativos con muestreadores de la fracción inhalable, en especial con el IOM, en los que se ha observado que el cassette infravalora esta fracción (2-4, 6, 11-13, 21-22), apuntándose como posibles causas: la subestimación de las partículas inhalables grandes > 20  $\mu$ m (orificio de 4 mm), la adherencia de partículas a las paredes del cassette quedando excluidas de la determinación gravimétrica y la pérdida de polvo al sacar el filtro para pesarlo.

En la referencia bibliográfica 3 están recogidos resultados de ensayos realizados en lugares de trabajo en los que se compara la eficacia de muestreo del IOM frente

EQUIPOS DE MUESTREO	MATERIAL	ORIFICIO(Ø)	CAUDAL (l/min)	FILTRO (mm)	FRACCIÓN POLVO
IOM	Plástico, o metálico	15 mm	2,0	25	Inhalable (*)
PGP-GSP 3,5/ CIS	Metálico/plástico	8 mm	3,5	37	Inhalable
PAS-6	Metálico	6 mm	2,0	25	Inhalable
CIP 10-I	Plástico	Cabeza rotatoria	10,0	Espuma porosa	Inhalable (*)
BUTTOM	Metálico	Multiorificios 381 mm	4,0	25	Inhalable
SHS ó 7HH	Metálico	7 orificios de 4 mm	2,0	25	Inhalable

(\*) Equipos con opciones para captar otras fracciones del aerosol.

Tabla 2. Principales características de los muestreadores de la fracción inhalable

al cassette de 37 mm cerrado, en función del tipo de operación realizada. Los ensayos efectuados en el laboratorio indican una relación IOM/cassette de 1,2 a 1,4 veces; pero en lugares de trabajo esta relación puede llegar a ser de 1,8 a 5 veces superior, según las condiciones ambientales, el tipo de actividad industrial, la naturaleza del polvo o el tamaño de las partículas, es-

pecialmente en presencia de partículas grandes (20-100  $\mu\text{m}$ ) (3, 10, 12, 19-20). La diferencia de resultados puede ser debida a que, normalmente, en los lugares de trabajo la composición del aerosol es menos uniforme, suele haber partículas de mayor tamaño (pueden penetrar por impacto o por deposición pasiva) y la velocidad del viento es menor (3).

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) TECHNICAL REPORT. CEN/TR 15230:2005  
**Workplace atmospheres-Guidance for sampling of inhalable, thoracic and respirable aerosol fractions.**
- (2) KENNY, L.C. et al.  
**A collaborative european study of personal inhalable aerosol sampler performance.**  
*Ann. Occup. Hyg.*, 1997, 41 (2), 135-153
- (3) INSHT  
**Toma de muestras de aerosoles. Muestreadores de la fracción inhalable de material particulada.**  
*Criterios y Recomendaciones. CR-03/2006*
- (4) LI Shou-Nan et al.  
**Evaluation of six inhalable aerosol samplers.**  
*Am. Ind. Hyg. J.*, 2000, 61 (july/august), 506-516
- (5) BARON, P.A.  
**Factors affecting aerosol sampling.**  
*NIOSH. Manual of Analytical Methods, fourth ed., third supplement, 2003, 184-207*
- (6) DAVIES, H.W. et al.  
**A field comparison of inhalable and thoracic size selective sampling techniques.**  
*Ann. Occup. Hyg.*, 1999, 43 (6), 381-392
- (7) LIDÉN G. et al.  
**Workplace validation of a laboratory evaluation test of samplers for inhalable and "total dust".**  
*J. Aerosol Sci.*, 2000, 31, 191-219
- (8) VAUGHAN, N. P. et al.  
**Field comparison of personal samplers for inhalable dust.**  
*Ann. Occup. Hyg.*, 1990, 34 (6), 553-573
- (9) SMITH, J. et al.  
**Laboratory investigation of the mass stability of sampling cassettes from inhalable aerosol samplers.**  
*Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 1998, 59 (august), 582-585
- (10) BARTLEY, D.L.  
**Inhalable aerosol samplers.**  
*Appl. Occup. Environ. Hyg.*, 1998, 13 (5), 274-278
- (11) AIZENBERG, V. et al.  
**Performance characteristics of the Button personal Inhalable aerosol sampler.**  
*Am. Ind. Hyg. J.*, 2000, 61 (may/june), 398-404
- (12) DEMANGE, M. et al.  
**Field comparison of 37-mm closed-face cassettes and IOM samplers.**  
*Appl. Occup. Environ. Hyg.*, 2002, 17 (3), 200-208
- (13) TEIKARI, M. et al.  
**Laboratory and field testing of particle size-selective sampling methods for mineral dusts.**  
*Am. Ind. Hyg. J.*, 2003, 64 (may/june), 312-318
- (14) CLINKENBEARD, R.E. et al.  
**A field comparison of the IOM inhalable aerosol sampler and a modified 37-mm cassette.**  
*Appl. Occup. Environ. Hyg.*, 2002, 17 (9), 622-627
- (15) PREDICALA, B.Z. and R.G. MAGHIRANG  
**Field comparison of inhalable and total dust samplers for assessing airborne dust in swine confinement barns.**  
*Appl. Occup. Environ. Hyg.*, 2003, 18, 694-701
- (16) LIDÉN G. and G. BERGMAN  
**Weighing imprecision and handleability of the sampling cassettes of IOM sampler for inhalable dust.**  
*Ann. Occup. Hyg.*, 2001, 45 (3), 241-252.
- (17) KERR, SM. et al.  
**Personal sampling for inhalable aerosol exposures of carbon black manufacturing industry workers.**  
*Appl. Occup. Environ. Hyg.*, 2002, 17 (10), 681-692
- (18) COURBON, P. et al.  
**A new individual respirable dust sampler: the CIP 10.**  
*Ann. Occup. Hyg.*, 1988, 32 (1), 129-143
- (19) INRS  
**Echantillonnage individuel d'un aérosol par l'appareil CIP 10.**  
*Metropol. Fiche H4 (2002)*
- (20) WITSCHGER, O. et al.  
**Performance of personal inhalable aerosol samplers in very slowly moving air when facing the aerosol source.**  
*Ann. Occup. Hyg.*, 2004, 48 (4), 351-368
- (21) HARPER, M and B.S. MULLER  
**An evaluation of total inhalable samplers for the collection of wood dust in three wood products industries.**  
*J. Environ. Monit.* 2002, 4 (5), 648-656
- (22) WERNER, M.A. et al.  
**Investigation into the impact introducing workplace aerosol standards based on the inhalable fraction.**  
*Analyst*, 1996, 121 (September), 1207-1214
- (23) MARTIN, J.R. and D.M. ZALK  
**Comparison of total dust/inhalable dust sampling methods for the evaluation of airborne wood dust.**  
*Appl. Occup. Environ. Hyg.*, 1998, 13 (3), 177-182
- (24) HAUCK, B.C. et al.  
**Field testing of new aerosol sampling method with a porous curved surface as inlet.**  
*Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 1997, 58 (October), 713-719