

## Evaluación de la exposición laboral a aerosoles (III): muestreadores de la fracción torácica, respirable y multifracción

*Evaluation de l'exposition professionnelle a aérosols. Échantillonneurs des fractions thoracique, respirable et multifracciones  
Occupational exposure assessment to aerosols. Samplers for the thoracic fraction, respirable and multi fraction*

### Redactor:

Antonio Martí Veciana

Ldo. en Ciencias Químicas y Farmacia

CENTRO NACIONAL DE  
CONDICIONES DE TRABAJO

*En la presente NTP, continuación de las NTP 731 y 764, se exponen las principales características y los aspectos más destacables de los muestreadores personales de las fracciones torácica y respirable de los aerosoles de forma individualizada, así como de varias fracciones simultáneas (muestreadores multifracción).*

### 1. MUESTREADORES DE LA FRACCIÓN TORÁCICA

La incorporación de la fracción torácica en el convenio para el muestreo de los aerosoles ha estimulado el desarrollo de muestreadores específicos, que suelen tener interés principalmente para fluidos de corte, polvo de algodón, fibras de amianto y nieblas de ácido sulfúrico (1-5). Estos muestreadores presentan dificultades en el cumplimiento de los requisitos de las normas cuando la velocidad del viento es alta (aunque resultan menos afectados que los de la fracción inhalable), la concentración del aerosol es elevada (hay posibilidad de saturación) o por pérdidas durante el transporte de la muestra (6).

A continuación se comentan las principales características y los aspectos más destacables del comportamiento de los distintos muestreadores personales de la fracción torácica.

#### CIP10-T

Es un muestreador desarrollado en Francia por CHECHAR (Centre d'Études et de Recherches de Charbonnage), actualmente INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques), y fabricado por la firma ARELCO (7).

#### Características

Es una versión del muestreador CIP10 (ver la NTP 764) (8). Dispone de un selector intercambiable que contiene una espuma de poliuretano de porosidad adecuada para captar la fracción torácica. Este equipo lleva incorporado una bomba de muestreo interna, con un flujo de aspiración de 7 l/min para el caso de la fracción torácica. Cambiando el selector posibilita la captación individual de las distintas fracciones de materia particulada. La determinación analítica de la fracción torácica es gravimétrica (9), por pesada de la tapa rotatoria junto con la espuma de poliuretano. En la Figura 1 puede observarse su aspecto.



Figura 1. Muestreador Arelco

#### Aspectos destacables

Es muy utilizado en Europa para muestrear la fracción torácica (2).

Su eficacia de muestreo es parecida a la establecida en el convenio de la fracción torácica, excepto para partículas con diámetro aerodinámico inferior a 2 µm, debido al rechace de una parte de estas partículas por el cabezal rotatorio del muestreador (5, 10).

Su incertidumbre es inferior al 10 % para partículas de diámetro entre 4 y 14 µm y al 20 % y para las comprendidas entre 15 y 21 µm (10).

#### GK2,69

Es un ciclón dual diseñado para muestrear la fracción torácica y la fracción respirable de los aerosoles, fabricado por la firma BGI, Inc. Massachussets (USA).

#### Características

GK2.69, indica el modelo y el diámetro interno, en cm. Está fabricado en aluminio anodizado con una capa de níquel para protegerlo del desgaste y la corrosión. El ciclón se acopla a una cassette de 3 piezas de 37 mm de diámetro y a una bomba de muestreo ajustada a un caudal de aspiración de 1,6 l/min, para captar la fracción torácica. Los filtros utilizados son de fibra de vidrio GFA, teflón de 2 µm, cloruro de polivinilo (PVC) de 5 µm y de esteres de celulosa de 0,8 µm. Presenta un punto de corte del 50 % de las partículas de 10 µm. Como punto de corte (D<sub>50</sub>) se define el tamaño de las partículas del aerosol (diámetro aerodinámico medio) que el muestreador capta con una eficacia del 50 %. En la Figura 2 puede observarse su aspecto.

Acoplado a una bomba de muestreo ajustada a un caudal 4,2 l/min posibilita la captación de la fracción respirable.

#### Aspectos destacables

Su eficacia de captación, es la más concordante con respecto a la curva del convenio para la fracción torácica, véase Norma UNE-EN 481, así como también el que ha

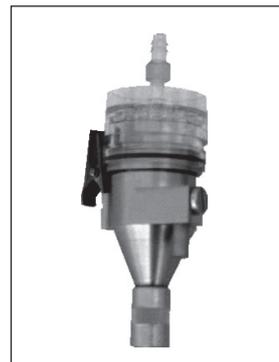


Figura 2. Ciclón GK2,69

presentado un sesgo más bajo en comparación con muestreadores equivalentes (4).

Se emplea con mucha frecuencia para el muestreo de los fluidos de corte (está referenciado por NIOSH en el Método analítico 5524).

Existe otro modelo, el GK2.69SS, fabricado en acero inoxidable y utilizado en algunos países, como Canadá, para el muestreo de aerosoles de ácido sulfúrico.

### PEM 200 (Personal Environmental Monitor)

#### Características

Es un muestreador de aluminio, pequeño y ligero (alrededor de 50 g), comercializado por la firma MSP Corp. Minneapolis (USA), que se acopla a una bomba personal y determina la materia particulada por impacto selectivo. Actúa en 2 etapas: en una primera, al ser el impactador circular expulsa las partículas superiores a  $10\ \mu\text{m}$  que son captadas sobre un aro engrasado (con aceite vegetal, o grasa de silicona) y descargadas después del muestreo, mientras que en una segunda etapa, las partículas inferiores a  $10\ \mu\text{m}$  son captadas sobre un filtro de 37 mm de diámetro. En la Figura 3 puede observarse su aspecto.



Figura 3. Muestrador PEM

Existen dos versiones según sea el tamaño de las partículas que capta: el PM10 (punto de corte  $D_{50} = 10,0\ \mu\text{m}$  de diámetro aerodinámico) y el PM 2,5 (punto de corte  $D_{50} = 2,5\ \mu\text{m}$  de diámetro aerodinámico). Cada una de ellas con caudales de muestreo de 2, 4, y  $10\ \text{l/min}$ , que se diferencian externamente por el color del muestreador. Los filtros utilizados son de 37 mm de diámetro y de la naturaleza adecuada a la metodología analítica aplicada.

Existen dos versiones según sea el tamaño de las partículas que capta: el PM10 (punto de corte  $D_{50} = 10,0\ \mu\text{m}$  de diámetro aerodinámico) y el PM 2,5 (punto de corte  $D_{50} = 2,5\ \mu\text{m}$  de diámetro aerodinámico). Cada una de ellas con caudales de muestreo de 2, 4, y  $10\ \text{l/min}$ , que se diferencian externamente por el color del muestreador. Los filtros utilizados son de 37 mm de diámetro y de la naturaleza adecuada a la metodología analítica aplicada.

#### Aspectos destacables

Desarrollado originalmente para evaluar la calidad de aire interior, también es utilizado en contaminación atmosférica y en higiene industrial cuando la velocidad del aire es baja y la concentración del aerosol no es elevada (11).

Está referenciado por la Environmental Protection Agency (EPA) de USA en el Método analítico IP-10A para partículas en aire interior.

## 2. MUESTREADORES DE LA FRACCIÓN RESPIRABLE

La British Medical Research Council (BMRC) dio, en 1952, la primera definición de polvo respirable considerando que el ( $D_{50}$ ) de las partículas depositadas correspondía a  $5,0\ \mu\text{m}$ , definición, que se adoptó posteriormente en la Conferencia Internacional de Neumoconiosis de Johannesburgo (1959), mientras que en 1961, la Atomic Energy Commission (AEC), propuso un ( $D_{50}$ ) de  $3,5\ \mu\text{m}$ . En 1968, la American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) corroboró dicha propuesta, con la salvedad de que el muestreador de la ACGIH solo dejaba pasar el 90 % de las partículas de  $2\ \mu\text{m}$  y no el 100% (6).

En Europa, y especialmente en UK, se vino utilizando un ciclón metálico que se ajustaba a la primera definición

con un caudal de  $1,9\ \text{l/min}$ ; mientras que en USA y también en España, se utilizaba un ciclón de 10 mm de nylon acoplado a un cassette de 37 mm que cumplía aproximadamente con la curva del convenio para la fracción respirable de la ACGIH con un caudal de aspiración de  $1,7\ \text{l/min}$ .

Finalmente, se propuso una armonización internacional de las definiciones de las fracciones del aerosol por tamaño de partículas, adoptándose en el caso de la fracción respirable que la función de penetración de las partículas respirables se situaba entre las dos curvas anteriormente propuestas, aceptándose un  $D_{50} = 4\ \mu\text{m}$ . Cada organismo implicado (CEN, ISO y ACGIH) los publicó independientemente, los dos primeros, como normas EN 481:1993 e ISO 7708:1995 y la ACGIH en la Documentación de los TLV (1995) (6).

### Aspectos generales de los muestreadores de la fracción respirable

Para captar la fracción del aerosol se han utilizado muestreadores basados en ciclones, impactadores y elutriadores con el fin de eliminar las partículas no respirables del aerosol antes de su captación en un filtro. De todos ellos, el sistema del ciclón, que separa las partículas por acción centrífuga, es el método más tradicional de muestreo personal de la fracción respirable.

No existe un muestreador ideal que pueda ser considerado de referencia para cada situación, aunque la mayoría de ciclones suelen resultar adecuados para muestrear la fracción respirable de acuerdo con el convenio CEN-ISO-ACGIH (conciernen con el 80 % o más), si bien algunos requieren un ajuste del caudal, el cual debe corresponder, lo mejor posible, con toda la curva del convenio para la fracción respirable y no sólo con el  $D_{50}$  (12). Un ciclón que se ajuste mejor al convenio exhibirá un sesgo más pequeño en todo el margen de distribución por tamaño de partícula. En general, el sesgo, aunque depende de la distribución por tamaño de partícula, se sitúa aproximadamente alrededor del  $\pm 10\%$ . Excepto para elevadas velocidades de aire, estos muestreadores no están afectados por las características del orificio de entrada y la orientación del aire ya que las partículas pequeñas tienen poca inercia y una velocidad de sedimentación baja (5).

Los ciclones deben ser lo suficientemente conductores para minimizar los efectos de las cargas electrostáticas, que modifican la trayectoria de las partículas y la eficacia de captación.

Las principales características y los aspectos más destacables del comportamiento de los distintos muestreadores personales de la fracción respirable, se indican a continuación.

#### Ciclón de nylon 10-mm, DORR OLIVER

Es uno de los ciclones más clásicos, que se ha venido utilizando tradicionalmente en USA y en España para captar la fracción respirable, principalmente de sílice libre.

#### Características

Ciclón de nylon, generalmente montado en un soporte metálico, que se acopla a un cassette de 37 mm de diámetro, de 2 ó 3 cuerpos que contiene un filtro apropiado a la metodología analítica a aplicar. El caudal de  $1,7\ \text{l/min}$  es el más recomendado por adaptarse al convenio de la fracción respirable (5, 14-15). En la Figura 4 puede observarse su aspecto.

**Aspectos destacables**

Existen algunas discrepancias sobre el caudal idóneo, ya que en estudios con diferentes caudales, como el de 1,5 l/min, se cumple mejor el  $D_{50} = 4,0 \mu\text{m}$  (12,16) y también reduciendo el caudal a 1,3 l/min, se incrementa el  $D_{50}$  de 3,5 a  $4,0 \mu\text{m}$  (15). La eficacia de captación de las partículas líquidas en general es más baja que de las sólidas.

Una versión de este muestreador es utilizado en minas de carbón a un caudal de 2 l/min y un factor de corrección de 1,38 (5).

El sesgo de este muestreador es negativo, especialmente para las partículas de diámetro grande y su desviación estándar geométrica pequeña, debido a que la curva de penetración del ciclón cae más rápidamente, con el aumento del tamaño de las partículas, que la curva de convenio para la fracción respirable (5).

Al ser un ciclón de plástico no conductor la eficacia de captación puede estar influenciada por efectos electrostáticos (5, 14).

Este ciclón está recomendado por NIOSH para polvo respirable: métodos analíticos 7500, 7601 y 7602 para sílice cristalina, 7501 para sílice amorfa, 7603 para cuarzo en minas de carbón, y 0600 para partículas de polvo no clasificadas de otra forma.



Figura 4. Ciclón de nylon 10 mm

**Ciclones para fracción respirable BGI**

*Características*

El ciclón BGI-4, tipo Higgins and Dewell (HD), es de la British Cast Iron Research Association (BCIRA), comercializado por BGI, Massachussets (USA) y utilizado para captar la fracción respirable, básicamente de polvos minerales, con un  $D_{50} = 4,0 \mu\text{m}$ .

Inicialmente fabricado en acero inoxidable y con el colector del polvo en aluminio anodizado. Existen 2 modelos: el BGI-4L, con el cuerpo de aluminio niquelado y el colector de las partículas en aluminio anodizado, y el BGI-4CP, con el cuerpo de plástico conductor y el colector de las partículas de neopreno. En la Figura 5 puede observarse el aspecto del ciclón metálico.

Las muestras se captan a un caudal de 2,2 l/min (BGI, 5,14-15) a través de un cassette de plástico conductor,

conteniendo un filtro de 25 mm de la naturaleza adecuada a la aplicación y análisis. La fracción respirable se recoge en el filtro y la no respirable, en el capuchón inferior.



Figura 5. Ciclón BGI-4L

*Aspectos destacables*

Es un ciclón, del tipo HD, indicado en el método analítico NIOSH 0600 para partículas respirables no clasificadas de otra forma.

No presenta efectos electrostáticos y permite una mayor sensibilidad analítica

al incrementarse el caudal con respecto a otros ciclones, como el ciclón de nylon.

**Ciclón de plástico SKC / Casella**

*Características*

Son ciclones muy similares, del tipo genérico Higgins and Dewell (HD), comercializados por las firmas SKC y Casella para captar la fracción respirable, diseñados para obtener un  $D_{50}$  de  $4 \mu\text{m}$ . Ver su aspecto, respectivamente, en las Figuras 6 y 7.

Son ciclones ligeros, fabricados con material plástico conductor, que se conectan a una bomba de muestreo ajustada a un caudal de 2,2 l/min (SKC, Casella, 14-15.). El SKC ciclón se ha estado utilizando en la UE a 1,9 l/min (12,15) La fracción respirable se recoge sobre un filtro de 25 mm, colocado en un cassette adecuado, y la fracción no respirable, se recoge en el capuchón de la base del ciclón.



Figura 6. Ciclón de plástico SKC

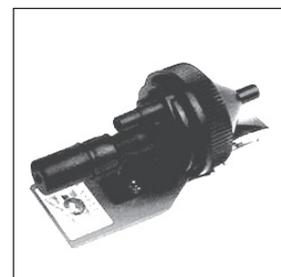


Figura 7. Ciclón de plástico Casella

*Aspectos destacables*

Las principales aplicaciones descritas son en el muestreo de polvos minerales, como: sílice libre, carbonatos, grafito, carbón y óxidos de aluminio.

Este tipo de ciclón viene especificado en los métodos analíticos de NIOSH, 7500 y 7601 para la sílice cristalina, 7501 para la sílice amorfa y 7603 para cuarzo en minas de carbón, así como del HSE, método 101 para sílice cristalina respirable.

**Ciclón de aluminio SKC**

*Características*

El ciclón de aluminio SKC es un muestreador personal de la fracción respirable, ligero de peso, que se utiliza acoplado a un cassette de 3 piezas conteniendo un filtro. Está disponible en 2 tamaños para ser utilizado con cassette de 25 mm o de 37 mm. El material del filtro y su porosidad se seleccionan de acuerdo con las especificaciones del método analítico. La fracción respirable se recoge en el filtro y la no respirable es recogida en el capuchón inferior. Su aspecto puede verse en la Figura 8.

El caudal recomendado por SKC es de 2,5 l/min, que proporciona un  $D_{50} = 4 \mu\text{m}$ .



Figura 8. Ciclón de aluminio SKC

### Aspectos destacables

Al ser metálico elimina los efectos electrostáticos.

No existe total unanimidad en el caudal recomendado, con propuestas de 2,2 l/min (12) y 2,7 l/min (16).

Este ciclón se especifica en los métodos analíticos de NIOSH 7500 para polvo respirable de sílice cristalina, método, para partículas respirables no clasificadas de otra forma, método 0600.

### GK2.69

#### Características

Este ciclón, ya citado en su versión para la fracción torácica (ver la Figura 2), se acopla a una bomba de muestreo a un caudal 4,2 l/min para captar la fracción respirable. Los filtros utilizados son de 37 mm de diámetro de fibra de vidrio GFA y de teflón de 2 µm.

#### Aspectos destacables

El caudal de muestreo es sustancialmente superior al de otros muestreadores, lo que permite obtener una mayor sensibilidad analítica.

Es un ciclón frecuentemente utilizado en la captación de polvo de sílice libre respirable.

### Muestreadores PGP: FSP 2 y FSP 10

El sistema PGP y los muestreadores FSP 2 y FSP 10 son fabricados por GSM Messgerätebau, con licencia del Institute Occupational Health and Safety Work-BIA (Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit), St. Augustin (República Federal de Alemania).

#### Características

El muestreador PGP-FSP 2, está equipado con un ciclón que permite el muestreo de la fracción respirable de acuerdo con el convenio. El caudal de aspiración es de 2 l/min y utiliza un filtro de membrana de 37 mm de diámetro y 8 µm de porosidad. Para los casos en que el volumen de muestreo no es suficiente, especialmente en la medición de contaminantes con valores límites ambientales bajos, se ha desarrollado el PGP-FSP 10, que permite un caudal de muestreo muy superior, 10 l/min (21). Véase su aspecto en las Figuras 9 y 10, respectivamente.

#### Aspectos destacables

El PGP-FSP 10 es utilizado especialmente para evaluar la fracción de cuarzo respirable y también los productos de emisión de máquinas diesel (DME).



Figura 9. Muestreador PGP-FSP 2



Figura 10. Muestreador PGP-FSP 10

### IOM

Este muestreador, ya descrito como muestreador personal de la fracción inhalable (Ver NTP 764) (7), dispone de una versión que posibilita el muestreo y la determinación de la fracción respirable, simultáneamente con la inhalable y se tratará dentro de los muestreadores multifracción.

### CIP 10-R

Muestreador desarrollado por el INERIS (Institut National de Recherche et de Sécurité), y fabricado por ARELCO (7).

#### Características

Es la versión de la fracción respirable del muestreador CIP10, ya descrito como muestreador personal de la fracción inhalable (véase NTP 764) (7) y de la fracción torácica (véase Figura 1). Dispone de un selector intercambiable que contiene una espuma de poliuretano de porosidad adecuada para captar la fracción respirable. Lleva incorporada una bomba de muestreo interna, con un flujo de aspiración de 10 l/min. La determinación analítica de la fracción respirable es gravimétrica (9), por pesada de la tapa rotatoria junto con la espuma de poliuretano.

#### Aspectos destacables

Muestreador utilizado para el muestreo de la fracción respirable en minas de carbón y en canteras.

Es recomendable la captación de cantidades de partículas superiores a los 2 ó 3 mg para obtener una mayor fiabilidad en las pesadas (10).

## 3. EQUIPOS DE MUESTREO MULTIFRACCIÓN

Los muestreadores personales multifracción presentan dificultades en el cumplimiento de los requisitos de las normas cuando: la velocidad del viento es elevada, la concentración del aerosol es alta, se generan partículas grandes, hay pérdidas en el transporte de la muestra o bien las partículas puedan transferirse de una fracción a otra (6).

Las principales características y los aspectos más destacables del comportamiento de los muestreadores personales que recogen de forma simultánea dos o las tres fracciones de interés (ver la NTP 764) (6,8), se indican a continuación.

### IOM (Muestreador Institut of Occupational Medicine)

#### Características

El IOM, además de su aplicación en el muestreo individual de la fracción inhalable, tiene la posibilidad de muestrear simultáneamente la fracción respirable y la fracción inhalable, mediante la incorporación de un disco de espuma de poliuretano al portafiltros. La diferencia de pesada, entre antes y después de la captación, del conjunto cassette-filtro-espuma corresponde a la fracción inhalable y la del conjunto cassette-filtro (sin el disco de espuma) a la fracción respirable. En la Figura 11 puede observarse su aspecto.

#### Aspectos destacables

Al captar la fracción respirable e inhalable en una sola muestra, permite un ahorro económico y de tiempo, es-



Figura 11. Muestreador IOM multifracción

pecialmente, cuando se trata de controles rutinarios de ambas fracciones (18).

Los estudios han resultado satisfactorios, si bien puede presentar colmataciones, en el caso de partículas de humo muy finas, o traslación de partículas del filtro, si está excesivamente cargado, a la espuma (18).

Se emplea como muestreador de referencia en estudios comparativos, por ejemplo en el muestreo de polvos minerales (talco)

(19). Se halla en estudio su aplicación en el muestreo de la fracción torácica, mediante la selección de una espuma de porosidad adecuada.

## RESPICON

### Características

Es un impactador virtual, ligero (~ 200 g) y compacto, con una única cabeza de muestreo, que capta simultáneamente las tres fracciones: inhalable, torácica y respirable, directamente sobre 3 filtros. Posibilita determinar, indirectamente, mediante cálculo, las demás fracciones definidas en la Norma UNE-EN 481, las fracciones extratorácica y traqueobronquial. Es un equipo utilizado para el muestreo personal o ambiental en áreas de trabajo. Está comercializado por las firmas Hund (República Federal de Alemania) y TSI (Reino Unido). En la Figura 12 puede observarse el aspecto exterior del muestreador.

El aerosol es aspirado en todas direcciones a un caudal de 3,11 l/min, por una ranura anular en la cabeza colectora de las partículas y se distribuye dentro del equipo en tres caudales:

- (a) en el primer estadio, el aire penetra a un caudal 2,66 l/min, y las partículas menores de 4 µm son recogidas en el filtro y las más grandes pasan al siguiente estadio,
- (b) en el segundo estadio, el caudal baja a 0,33 l/min, y las partículas entre 4 y 10 µm son recogidas en el filtro y las superiores pasan al siguiente estadio,
- (c) en el tercer estadio o fondo, el caudal se reduce a 0,11 l/min, y se recogen las partículas mayores de 10 µm.

Las partículas recogidas en los 3 filtros permiten la determinación gravimétrica de las 3 fracciones: la fracción respirable corresponde a (a), la fracción torácica a (a+b), y la fracción inhalable a (a+b+c).

Los filtros utilizados son de 37 mm de diámetro y pueden ser de distinta naturaleza: esteres de celulosa de 5 µm, PVC de 5 µm, fibra



Figura 12. Muestreador Respicón

de vidrio, o de policarbonato de 2 µm, según la metodología analítica aplicada.

### Aspectos destacables

Su diseño hace que el aerosol sea aspirado de todas las direcciones al mismo tiempo y la eficacia de captación no se vea afectada por las diferentes orientaciones del aire (0, 90 ó 180 °) (19).

Se ha utilizado en ambientes con polvo de madera, con una precisión aceptable y con resultados comparables a los del muestreador CIS, en el caso de la fracción inhalable, y a los del BGI-4, en el caso de la fracción respirable (20).

En un estudio en laboratorio y en campo entre 8 muestreadores, la fracción inhalable medida con este muestreador fue más baja con respecto a los valores de referencia, mientras que las fracciones torácicas y respirables estuvieron próximas al valor de referencia (21).

El fabricante TSI recomendó inicialmente un factor de corrección de 1,5 para calcular la masa de partículas recogidas en el tercer estadio o sea partículas más grandes que las de la fracción torácica (>10 µm), pero, con posterioridad, basándose en un estudio, que señalaba que no era necesario para bajas velocidades del aire (0,55 m/s), ha recomendado no aplicarlo (19). No obstante, existen discrepancias al respecto, ya que según otros estudios si que es necesario aplicar un factor de corrección para el cálculo de la fracción inhalable (20-22).

## PERSPEC (PERSONAL SPECTrometer)

### Características

Muestreador multifracción diseñado en Italia (Lavoro e Ambiente) (23). La captación se fundamenta en la separación de las partículas por inercia y en su deposición sobre un filtro de membrana de 47 ó 50 mm, separando las 3 fracciones de forma concéntrica en 3 zonas radiales del filtro, depositándose la fracción de partículas de mayor tamaño cerca del centro. El muestreador funciona conectado a una bomba de muestreo a un caudal de 4 l/min.

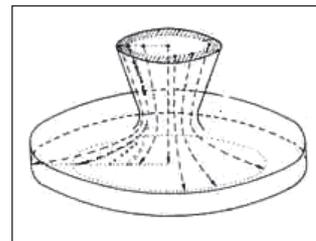


Figura 13. Muestreador Perspec

Las partículas pueden ser evaluadas gravimétricamente como masa particulada total, y en caso de ser necesario evaluar la distribución por tamaño de las partículas, las 3 zonas pueden ser cortadas y analizadas separadamente (24). En la Figura 13 puede observarse su diseño.

### Aspectos destacables

Este muestreador figura entre los relacionados en la Guía CEN (ver NTP 764), pero no se dispone de mayor información en el momento de redactar esta NTP.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) FABRIÉS JF. et al.  
**A new air sampling instrument for the assessment of the thoracic fraction of an aerosol**  
*J. Aerosol Sci.* 1989, 20, 1589-1592
- (2) GORNER P et al.  
**Thoracic fraction measurement of cotton dust**  
*J. Aerosol Sci.* 1994, 25, S487-S488
- (3) BARON, PA.  
**Sampling for thoracic aerosol. In: particle size-selective sampling for particulate air contaminants**  
*ACGIH, Vincent JH, ed. Cincinnati OH, 1999, 141-154*
- (4) MAYNARD, A.  
**Measurement of aerosol penetration through six personal thoracic samplers under calm air conditions**  
*Journal of Aerosol Science, 1999, 30 (9).*
- (5) BARON, P.A.  
**Factors affecting aerosol sampling**  
*NIOSH. Manual of Analytical Methods, fourth ed., third suppl., 2003, 184-207*
- (6) INSHT  
**Toma de muestras de aerosoles. Muestreadores de la fracción inhalable de material particulada**  
*Criterios y Recomendaciones. CR-03/2006*
- (7) COURBON, P. et al.  
**A new individual respirable dust sampler: the CIP 10**  
*Ann. Occup. Hyg., 1988, 32 (1), 129-143*
- (8) MARTÍ, A.  
**Evaluación de la exposición laboral a aerosoles (II). Muestreadores de las fracciones de partículas**  
*INSHT. Nota Técnica de Prevención. NTP 764 (2007)*
- (9) INRS  
**Echantillonnage individuel d'une aerosol par l'appareil CIP 10**  
*Metropol. Fiche H4 (2002)*
- (10) FABRIÈS, J.F. et al.  
**Personal thoracic CIP10-T sampler and its static version Cathia.-T**  
*Ann. Occup. Hyg., 1998, 42 (7), 453-465*
- (11) DAVIES, H.W. et al.  
**A field comparison of inhalable and thoracic size selective sampling techniques**  
*Ann. Occup. Hyg., 1999, 43 (6), 381-392*
- (12) GORNER, P. et al.  
**Study of fifteen respirable aerosol samplers used in Occupational Hygiene**  
*Ann. Occup. Hyg., 2001, 45 (1), 43-54*
- (13) MAYNARD, A. and KENNY L.C.  
**Performance assessment of three personal cyclone models, using an Aerodynamic Particle Sizer**  
*Journal of Aerosol Science, 1995, 26 (4), 671-684.*
- (14) BARTLEY, D.L. et al.  
**Respirable aerosol sampler performance testing**  
*Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1994, 55 (11) 1036-1046
- (15) TSAI C-J and SHIH T-S  
**Particle collection efficiency of two personal respirable dust samplers**  
*Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1995, 56 (9) 911-918
- (16) CHEN, C. et al.  
**Laboratory performance comparison of respirable samplers**  
*Am. Ind. Hyg. J., 1999, 60 (Set/Oct), 601-611*
- (17) COSSEY J.R. and VAUGHAN N.P.  
**A higher-flow rate cyclone for determination of respirable dust**  
*Ann. Occup. Hyg., 1987, 31 (1), 39-52*
- (18) KENNY, L. et al.  
**Applications of low-cost, dual-fraction dust samplers**  
*Ann. Occup. Hyg., 2001, 45 (1), 35-42*
- (19) LI SHOU-NAN et al.  
**Evaluation of six inhalable aerosol samplers**  
*Am. Ind. Hyg. J., 2000, 61 (july/august), 506-516*
- (20) TATUM, V. et al.  
**Performance of the Respicon personal aerosol sampler in forest products industry workplaces**  
*Am. Ind. Hyg. J., 2002, 63 (may/june), 311-316*
- (21) 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*
- (22) KOCH W. et al.  
**Evaluation of the RESPICON as a personal inhalable sampler in industrial environments**  
*J. of Env. Monitoring, 2002, 4 (5), 657-662*
- (23) PRODI, V et al.  
**PERSPEC: A personal sampler with size characterization capabilities**  
*Am. Ind. Hyg. J., 1988, 49 (2), 75-80*
- (24) KENNY L.C. and BRADLEY D.R.  
**Optimización PERSPEC multifraction aerosol sampler to new sampling conventions**  
*Ann. Occup. Hyg., 1994, 38 (1), 23-35*