

**DETERMINACIÓN DE MATERIA PARTICULADA
(FRACCIONES INHALABLE, TORÁCICA Y
RESPIRABLE) EN AIRE - MÉTODO GRAVIMÉTRICO**

MTA/MA – 014/A11



MINISTERIO
DE TRABAJO
E INMIGRACIÓN



INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO

Organismos participantes en el Programa Nacional de Normalización de Métodos de Toma de Muestra y Análisis:

- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo

Centro Nacional de Condiciones de Trabajo - Barcelona

Centro Nacional de Medios de Protección - Sevilla

Centro Nacional de Nuevas Tecnologías - Madrid

Centro Nacional de Verificación de Maquinaria - Vizcaya

Coordinación:

Centro Nacional de Verificación de Maquinaria - Vizcaya

Edita:

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
C/ Torrelaguna, 73 - 28027 MADRID



DETERMINACIÓN DE MATERIA PARTICULADA (FRACCIONES INHALABLE, TORÁCICA Y RESPIRABLE) EN AIRE – MÉTODO GRAVIMÉTRICO

Palabras clave: materia particulada, fracción inhalable, fracción torácica, fracción respirable, aerosol, aire, gravimetría.

(El presente método constituye una revisión/actualización del MTA/MA-014/A88)

1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Este método describe el procedimiento a seguir y el equipo necesario para la determinación gravimétrica de la materia particulada suspendida en el aire (aerosol) de los lugares de trabajo, captada mediante un elemento de retención apropiado.

El método es aplicable a todo tipo de materia particulada (polvo de madera, polvo de sílice libre, humos de soldadura, nieblas de aceites, etc.) para cuyo análisis se precise una determinación gravimétrica (10.1.) y permite, asimismo, la determinación de las diferentes fracciones por tamaño de partícula de los aerosoles contempladas en la Norma UNE-EN 481 (10.2.) siempre que se utilicen para su captación los muestreadores adecuados (10.3.).

La cantidad de materia particulada recogida dependerá del sistema de muestreo elegido para la toma de muestra. Por tanto, el intervalo de trabajo de este método puede considerarse como el intervalo en masa comprendido entre el límite de cuantificación calculado y el valor de la misma que puede causar la colmatación del elemento de retención utilizado.

El límite de detección del método depende de la sensibilidad de la balanza analítica empleada, de las condiciones de operación y de la estabilidad gravimétrica de la pesada por lo que debe ser calculado por cada laboratorio (véase anexo A).

Tanto la colmatación del elemento de retención como una posible pérdida de masa durante la manipulación de la muestra son factores críticos en las determinaciones gravimétricas de materia particulada. Además, distintos muestreadores pueden requerir diferentes caudales para la toma de muestra, lo que implica, para el mismo volumen de aire, tiempos de muestreo diferentes.

Este método puede utilizarse para realizar mediciones que tengan por objeto su comparación con el valor límite y para mediciones periódicas (véanse los apartados 4.5

y 4.6 de la Norma UNE-EN 482) (10.4.) en cumplimiento del RD 374/2001 sobre agentes químicos (10.5.). También podría utilizarse para realizar mediciones para la evaluación aproximada de la concentración media ponderada en el tiempo (véase apartado 4.2 de la Norma UNE-EN 482), así como para realizar la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos (véase la Norma UNE-EN 689) (10.6.).

2. DEFINICIONES

A efectos de este documento se aplican las siguientes definiciones:

2.1. Aerosol

Suspensión de partículas sólidas o líquidas en el aire.

2.2. Fracción inhalable

Fracción de la masa de las partículas del aerosol que se inhala a través de la nariz y la boca.

2.3. Fracción torácica

Fracción de la masa de las partículas inhaladas que penetran más allá de la laringe.

2.4. Fracción respirable

Fracción de la masa de las partículas inhaladas que penetran en las vías respiratorias no ciliadas.

2.5. Sistema de muestreo

Conjunto de componentes cuya misión es separar la fracción del aerosol de interés (inhalable, torácica o respirable) y recogerla en un determinado elemento de retención. La bomba de muestreo, el muestreador y el elemento de retención forman parte del sistema de muestreo.

2.6. Muestreador

Dispositivo que permite separar las partículas del aerosol del aire y recogerlas en un elemento de retención.

2.7. Elemento de retención

Elemento que se integra en el muestreador y que retiene la fracción de interés del aerosol para su posterior análisis. Generalmente son filtros o espumas de diferentes características.

NOTA: En algunos muestreadores se considera el conjunto filtro + portafiltro como elemento de retención.

2.8. Sesgo

Desviación o diferencia de los resultados obtenidos aplicando un procedimiento de medida con respecto al valor aceptado como referencia.

2.9. Precisión

Grado de concordancia entre los resultados obtenidos aplicando el método repetidas veces bajo condiciones determinadas.

2.10. Incertidumbre

Estimación del intervalo de valores en el que se sitúa, generalmente, con una probabilidad determinada, el valor verdadero de la magnitud medida.

3. FUNDAMENTO DEL MÉTODO

La muestra se recoge haciendo pasar un volumen conocido de aire a través de un muestreador que incorpora un elemento de retención adecuado, con la ayuda de una bomba de muestreo.

La cantidad de materia retenida en el elemento de retención, expresada en miligramos, se obtiene como diferencia entre la pesada del elemento de retención posterior y previa al muestreo.

A partir de dicha cantidad, y teniendo en cuenta el volumen de aire muestreado, se obtiene la concentración de materia particulada en aire, en miligramos por metro cúbico.

4. REACTIVOS Y PRODUCTOS

4.1. Agua destilada o desionizada libre de partículas (10.7.).

4.2. Disolución sobresaturada de una sustancia cristalina (10.8.) como el carbonato potásico, nitrato cálcico o amónico, etc. cuyo porcentaje de humedad relativa, a temperatura constante, sea próxima a la media habitual del laboratorio ($\pm 5\%$). Este reactivo únicamente es necesario en caso de requerir el acondicionamiento del elemento de retención.

4.3. Etanol del 96 % o isopropanol en disolución acuosa al 25 % (10.9.).

5. APARATOS Y MATERIAL

5.1. Aparatos y material para la toma de muestra

5.1.1. Bomba de muestreo capaz de mantener un funcionamiento continuado durante el tiempo de muestreo requerido. El caudal de la bomba ha de mantenerse constante dentro de un intervalo de $\pm 5\%$ del caudal fijado durante su calibración.

Para muestreos a caudales inferiores a 5 l/min la bomba cumplirá los requisitos recogidos en la Norma UNE-EN 1232 (10.10.). Para muestreos superiores a 5 l/min la bomba cumplirá los requisitos recogidos en la Norma UNE-EN 12919 (10.11.). Véase el anexo D.

5.1.2. Medidor de caudal para la calibración de la bomba de muestreo. Véase el anexo D.

NOTA: Es recomendable la utilización de un medidor de caudal de burbuja ya que sus lecturas son independientes de la temperatura y la presión atmosférica (CEN/TR 15230) (10.12.).

5.1.3. Muestreador. Dispositivo diseñado para captar una o varias de las fracciones del aerosol definidas en la Norma UNE-EN 481 (10.2.) y que debe cumplir con lo establecido en la Norma UNE-EN 13205 (10.13.), relativa al funcionamiento de los instrumentos para la medición de concentraciones de aerosoles, y en el documento técnico CEN/TR 15230 (10.11.). En el anexo B se recogen una serie de muestreadores que potencialmente cumplen los requisitos exigibles.

5.1.4. Elemento de retención como filtro, espuma u otro que garantice una eficacia de retención no inferior al 99 % del aerosol suspendido en el aire. La elección del elemento de retención viene condicionada, en general, por el sistema de muestreo utilizado y por consideraciones analíticas. Véanse los anexos B y C.

5.1.5. Medidor de tiempo

5.2. Aparatos y material para el análisis

5.2.1. Balanza analítica con sensibilidad mínima de 0,01 miligramos, es decir, capaz de pesar con una resolución de 1 o 10 microgramos (6 o 5 cifras, respectivamente).

5.2.2. Cámara de humedad controlada. Recinto que contiene una disolución sobresaturada de una sustancia cristalina (4.2.) y cuyo fin es acondicionar los elementos de retención y mantener un nivel homogéneo de humedad durante el proceso de pesada.

NOTA: El uso de esta cámara es necesario para determinados elementos de retención y opcional para otros.

5.2.3. Dispositivo para la eliminación de la electricidad estática que minimice los efectos producidos por

la acumulación de electricidad estática en determinados elementos de retención.

NOTA: En el mercado existen diversos dispositivos como descargadores o equipos ionizadores, pistolas antiestáticas, barras de ionización, etc. que disipan la carga electrostática acumulada.

5.2.4. Pinzas de puntas planas y sin estrías en los bordes que eviten, en lo posible, el deterioro de los elementos de retención y la generación de cargas electrostáticas.

5.2.5. Guantes que eviten el contacto de la piel con los elementos de retención pero que no dificulten el proceso de manipulación.

5.2.6. Utensilio para extraer el elemento de retención que facilite, en caso necesario, la extracción del elemento de retención del muestreador.

6. TOMA DE MUESTRA

6.1. Antes de usar los muestreadores se comprobará que están completamente limpios y secos.

NOTA 1: Se tendrán en cuenta las recomendaciones del fabricante en todas las operaciones de limpieza y manipulación del muestreador.

NOTA 2: Si se utilizan ciclones, éstos deben desmontarse e inspeccionarse. Si aparecen muescas o rayas en su interior, deberán desecharse.

6.2. Se monta el elemento de retención (5.1.4.) previamente pesado en el muestreador seleccionado (5.1.3.). El elemento de retención se manipulará únicamente con pinzas de puntas planas (5.2.4.) y el muestreador, con el elemento de retención incorporado, permanecerá convenientemente cerrado hasta el comienzo del muestreo.

6.3. Se calibra la bomba de muestreo (5.1.1.) al caudal requerido empleando un medidor de caudal (5.1.2.), y un muestreador conteniendo un elemento de retención del mismo lote que el utilizado en el muestreo (véase el anexo D).

6.4. Antes de comenzar el muestreo, se retiran las protecciones del muestreador y se conecta éste a la bomba mediante un tubo flexible, asegurándose de que no existen fugas ni estrangulamientos.

6.5. Para muestreos personales se coloca el muestreador en la zona de respiración del trabajador, por ejemplo, sujeto a la solapa, y la bomba de muestreo se sujeta en el cinturón o en otro lugar apropiado de la ropa del trabajador, evitando estrangulamientos del tubo flexible.

NOTA: Para mediciones en un punto fijo (5.2.2. de la Norma UNE-EN 689) se debe elegir una localización adecuada para el muestreo.

6.6. Para iniciar el muestreo se pone en marcha la bomba y se anota la hora de comienzo de la toma de muestra.

El tiempo de muestreo debe ser representativo de la duración de la exposición de los trabajadores y tan largo como sea razonablemente posible, evitando la colmatación del elemento de retención.

6.7. Al finalizar la toma de muestra se anota el tiempo transcurrido desde el inicio del muestreo.

Se retira el muestreador del sistema de muestreo y se vuelve a cerrar para evitar pérdidas o contaminaciones durante su traslado al laboratorio. Se anotan la referencia de la muestra y todos los datos relativos al muestreo.

6.8. Con el mismo muestreador y elemento de retención utilizados en la calibración previa (6.3.), se verificará y anotará el caudal de la bomba tras el muestreo.

El caudal al final del periodo de muestreo deberá haberse mantenido dentro del $\pm 5\%$ del valor ajustado inicialmente (véase anexo D). La muestra se considera no válida cuando la diferencia entre los caudales medidos antes y después de la toma de muestra supera dicho 5 %.

6.9. Por cada lote de muestras tomadas en las mismas condiciones se adjuntarán, al menos, tres blancos de muestreo (elementos de retención sometidos exactamente a la misma manipulación que las muestras, excepto que a través de ellos no habrá pasado aire).

7. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

7.1. Limpieza

7.1.1. El área próxima a las balanzas debe mantenerse libre de polvo y de cualquier elemento que pueda afectar a la estabilidad de la pesada. Las mesas o áreas de trabajo pueden limpiarse con paños húmedos o toallas adsorbentes.

7.1.2. El plato de la balanza o los accesorios para la pesada de los elementos de retención, así como pinzas, espátulas u otros utensilios de laboratorio, pueden limpiarse cuidadosamente con alcohol (4.3.) y tejidos desechables no fibrosos.

7.2. Condiciones para la determinación gravimétrica

La balanza debería estar ubicada en un local donde las condiciones ambientales estén debidamente controladas (temperaturas en torno a 20 °C y humedades relativas próximas al 50 %) (10.14.).

NOTA: Es conveniente que el local no presente ventanas y se eviten las corrientes de aire y las fuentes de energías radiantes o electromagnéticas. Se recomienda, asimismo, que durante las determinaciones gravimétricas únicamente permanezca en este local la persona que las está realizando.

7.3. Calibración de la balanza y control de calidad

7.3.1. Calibración periódica. La balanza debe ser calibrada periódicamente para comprobar su correcto funcionamiento y que los resultados sean consistentes y reproducibles. El resultado de la calibración debe quedar reflejado en el correspondiente certificado de calibración.

NOTA 1: Si la calibración interna de la balanza la realiza el propio laboratorio, debe utilizar procedimientos adecuados para ello, como se especifica en el punto 5.4 de la Norma ISO 17025 (10.15.).

NOTA 2: La periodicidad recomendada para la calibración de la balanza es de aproximadamente 12 meses, y siempre que se compruebe que la calidad de los resultados no es aceptable.

7.3.2. Verificación de las condiciones de uso de la balanza. De forma periódica, por ejemplo mensualmente, el usuario puede realizar una serie de actuaciones para verificar la sensibilidad y repetibilidad de su balanza analítica. El uso de pesas certificadas de la clase F o E permite controlar las especificaciones de las balanzas capaces de pesar con una resolución de 1 o 10 microgramos (balanzas de 6 o 5 cifras, respectivamente).

NOTA: La comprobación del ajuste del cero (o tara) antes de cada pesada y la utilización de la opción de auto-calibración (mediante pesas internas), disponible ya en muchas balanzas, son actuaciones cotidianas que contribuyen al control del funcionamiento de la balanza.

7.3.3. Control de calidad

Los equipos e instrumentos utilizados durante el análisis gravimétrico deben estar incluidos en un programa de mantenimiento, calibración y control de calidad debidamente documentado y recogido en el procedimiento de trabajo.

Las situaciones más habituales que afectan a la precisión de las determinaciones gravimétricas y que son detectables con un adecuado control de calidad están asociadas a deficiencias o mal funcionamiento de la balanza, de la cámara de humedad controlada o del sistema de eliminación de cargas electrostáticas; a variaciones en la calidad o composición de los elementos de retención y a diferencias entre analistas.

7.3.3.1. Control de calidad interno. El laboratorio debe disponer de un sistema de control de calidad interno que permita identificar y actuar ante situaciones donde la calidad de las determinaciones gravimétricas del laboratorio pueda verse comprometida.

NOTA: Por ejemplo, el empleo de blancos intercalados entre las muestras de campo permite detectar variaciones sistemáticas en la masa debidas a posibles absorciones o evaporaciones durante el proceso de pesada.

7.3.3.2. Control de calidad externo. Es conveniente que el laboratorio participe en programas de control de calidad externos donde pueda contrastar la calidad de sus determinaciones gravimétricas (10.16.).

7.4. Procedimiento de medida

La determinación gravimétrica requiere pesar el elemento de retención tanto antes como después de la toma de muestra. Para ello, los elementos de retención deben ser manipulados cuidadosamente y colocados sobre los soportes que faciliten su acondicionamiento y/o eliminación de posibles cargas estáticas.

Los elementos de retención se tratarán de forma idéntica antes y después de la toma de muestra, realizándose las pesadas en la misma balanza y, a ser posible, por la misma persona.

7.4.1. Acondicionamiento del elemento de retención

Los elementos de retención que requieran acondicionamiento se introducen en la cámara de humedad (5.2.2.) durante un periodo mínimo de 24 horas, para que la temperatura y la humedad de dicho elemento se equilibren con las existentes en el interior de la cámara.

7.4.2. Pesada del elemento de retención

7.4.2.1. Inmediatamente antes de proceder a la pesada se debe eliminar, con el correspondiente dispositivo (5.2.3.), la posible carga electrostática existente en la superficie del elemento de retención ya que ésta puede llegar a ser una fuente de error importante en algunas determinaciones gravimétricas.

7.4.2.2. Previamente a la pesada del elemento de retención la balanza habrá sido ajustada a cero.

7.4.2.3. La pesada se realiza depositando el elemento de retención sobre el plato o accesorio específicamente diseñado para la balanza. Se considerará como valor de la pesada la lectura registrada una vez que ésta se haya estabilizado.

NOTA: Para los elementos de retención acondicionados en la cámara de humedad es aconsejable que después de realizar 10 o 12 pesadas consecutivas se espere al menos 1 hora para restablecer el control de la humedad de la cámara.

7.4.2.4. Para minimizar los errores asociados a las operaciones con la balanza se recomienda efectuar al menos tres pesadas del elemento de retención y utilizar, como resultado, el valor medio de las mismas.

NOTA: Factores como la humedad o la electricidad estática pueden generar diferencias entre pesadas (por ejemplo,

pueden ser superiores a 10 µg para balanzas con sensibilidad de 1 µg). En tal caso, debería efectuarse alguna pesada adicional.

8. CÁLCULOS

8.1. Cantidad de materia particulada retenida

El peso de la materia particulada (P) recogida en el elemento de retención, expresada en miligramos, se obtiene por diferencia entre la pesada posterior (P₂) y la previa (P₁) a la toma de muestra (7.4.2.), de acuerdo con la expresión:

$$P = (P_2 - P_1)$$

donde:

P₁ es el valor medio de las tres pesadas previas al muestreo, en mg

$$P_1 = \frac{P_{11} + P_{12} + P_{13}}{3}$$

P₂ es el valor medio de las tres pesadas posteriores al muestreo, en mg

$$P_2 = \frac{P_{21} + P_{22} + P_{23}}{3}$$

8.2. Corrección de la inestabilidad de la pesada mediante el uso de blancos de muestreo

Esta corrección se realiza utilizando tres elementos de retención en blanco (10.14.). En este caso, la expresión para el cálculo de la cantidad de materia particulada recogida en un elemento de retención corregida con el resultado de las pesadas obtenidas para los blancos sería:

$$P_{\text{corregida}} = (P_2 - P_1) \pm \left(\frac{(B_{12} - B_{11}) + (B_{22} - B_{21}) + (B_{32} - B_{31})}{3} \right)$$

$$P_{\text{corregida}} = P \pm \left(\frac{(B_{12} - B_{11}) + (B_{22} - B_{21}) + (B_{32} - B_{31})}{3} \right)$$

donde:

P_{corregida} es el peso de la materia particulada recogida corregida con los valores de los blancos, en mg

P es el peso de la materia particulada determinada en el elemento de retención, en mg

B₁₂ y B₁₁ son las pesadas posterior y previa de cada blanco utilizado para la corrección, en mg

NOTA: La corrección no es necesaria cuando la media de las diferencias entre las dos pesadas del elemento de

retención en blanco, posterior (B₁₂) y previa (B₁₁), en valor absoluto, no supere el límite de detección calculado.

8.3. Volumen de aire muestreado

El volumen de aire muestreado se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V = \frac{(q_{\text{inicial}} + q_{\text{final}})}{2} \cdot t$$

donde:

V es el volumen de aire muestreado, en litros

q_{inicial} es el caudal al comienzo del periodo de muestreo, en litros por minuto

q_{final} es el caudal medido tras finalizar el muestreo, en litros por minuto

t es el tiempo de muestreo en minutos

8.4. Concentración de la materia particulada en aire

La concentración de la materia particulada (C) se calcula mediante la expresión:

$$C = \frac{P_{\text{corregida}}}{V}$$

donde:

C es la concentración de la materia particulada en miligramos por metro cúbico de aire muestreado

P_{corregida} es la cantidad de materia particulada en miligramos, corregida con los valores de los blancos

V es el volumen de aire muestreado, en metros cúbicos

9. PRECISIÓN

9.1. Los resultados obtenidos en el ensayo de validación, recogidos en el anexo A, únicamente se refieren a la incertidumbre asociada a la determinación gravimétrica y no tienen en cuenta la contribución de las componentes asociadas a la eficacia de muestreo, al volumen de aire muestreado y al transporte y almacenamiento de las muestras.

9.2. La incertidumbre de la determinación gravimétrica (U) y los límites de detección (LD) y cuantificación (LC) del método han sido calculados siguiendo el procedimiento descrito en la Norma ISO 15767 y utilizando una balanza de seis cifras. Los resultados obtenidos se recogen en la tabla 1.

Tabla 1

Resumen de los resultados del ensayo de validación

ELEMENTO DE RETENCIÓN	Incertidumbre Expandida (U) µg	Límite de detección (LD) µg	Límite de cuantificación (LC) µg
Filtro de fibra de vidrio 37 mm 1 µm	16	23	78
Filtro de fibra de vidrio 25 mm 1 µm	11	17	57
Filtro de PVC 37 mm 5 µm	3	5	17
Portafiltro IOM de plástico + Filtro de fibra de vidrio 25 mm 1 µm	18	28	92
Portafiltro IOM de acero + Filtro de fibra de vidrio 25 mm 1 µm	13	19	64

9.3. A partir de datos procedentes del Programa Interlaboratorios de Control de Calidad (PICC - Gr) del INS-HT (10.16.) se estimó la precisión intralaboratorio de la determinación gravimétrica en términos de desviación típica. Los resultados mostraron que para los filtros de PVC la desviación típica es inferior a 50 µg (con balanza de cinco cifras, resolución de 10 µg) y a 5 µg (con balanza de seis cifras, resolución de 1 µg). Por otra parte, la

desviación típica para filtros de fibra de vidrio resultó ser inferior a 50 µg, con balanza de cinco cifras (10.16.).

Para un laboratorio que utilice este método gravimétrico, estos valores de precisión pueden ser considerados como una referencia y utilizarse para contrastar la calidad de los resultados obtenidos en sus determinaciones gravimétricas.

10. BIBLIOGRAFÍA

- 10.1.** UNE 81599. “Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de materia particulada (fracciones inhalable y respirable) en aire. Método gravimétrico”.
- 10.2.** UNE-EN 481. “Atmósferas en los puestos de trabajo. Definición de las fracciones por el tamaño de las partículas para la medición de aerosoles”.
- 10.3.** CR-03/2006. Criterios y Recomendaciones: “Toma de muestras de aerosoles. Muestreadores de la fracción inhalable de materia particulada”. INSHT (2006).
- 10.4.** UNE-EN 482. “Atmósferas en los puestos de trabajo. Requisitos generales relativos al funcionamiento de los procedimientos para la medida de agentes químicos”.
- 10.5.** Real Decreto 374/2001, de 6 de abril (BOE de 1.5.2001), sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.
- 10.6.** UNE-EN 689. “Atmósferas en los puestos de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de medición”.
- 10.7.** UNE-EN ISO 3696. “Agua para uso en análisis de laboratorio”. Especificación y métodos de ensayo (1996).
- 10.8.** W.M. Hayness (Editor). “CRC Handbook of Chemistry and Physics”. 91st CRC PRESS. Taylor and Francis Group LLC (version internet 2011).
- 10.9.** Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo (BOE de 5.6.1995). Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, y sus modificaciones.
- 10.10.** UNE-EN 1232. “Atmósferas en los puestos de trabajo. Bombas para el muestreo personal de los agentes químicos. Requisitos y métodos de ensayo”.
- 10.11.** UNE-EN 12919. “Atmósferas en los puestos de trabajo. Bombas para el muestreo de los agentes químicos con un caudal volumétrico superior a 5 l/min. Requisitos y métodos de ensayo”.
- 10.12.** CEN/TR 15230:2005. “Workplace atmospheres – Guidance for sampling of inhalable, thoracic and respirable aerosol fractions”.
- 10.13.** UNE-EN 13205. “Atmósferas en los puestos de trabajo. Evaluación del funcionamiento de los instrumentos para la medición de concentraciones de aerosoles”.
- 10.14.** ISO 15767:2009. “Workplace atmospheres – Controlling and characterizing errors in weighing collected aerosols”.
- 10.15.** UNE-EN ISO 17025:2005. “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”.
- 10.16.** Programa Interlaboratorios de Control de Calidad de Gravimetrías (PICC-Gr). INSHT. www.insht.es/picc.
- 10.17.** CR-01/2006. Criterios y Recomendaciones: “Criterios y Recomendaciones. Bombas para el muestreo personal de agentes químicos”. INSHT (2006).

ANEXO A

Validación del método

En este apartado se recogen los datos obtenidos en la validación del método. Ésta ha sido llevada a cabo, únicamente, para la determinación gravimétrica del método y no para la toma de muestra ni el transporte de los elementos de retención al laboratorio, siguiendo los criterios generales del INSHT para validación de métodos de toma de muestra y análisis y el procedimiento específico establecido en la Norma ISO 15767:2009 "Workplace atmospheres – Controlling and characterizing errors in weighing collected aerosols" (10.14.).

A.1 Procedimiento de validación

Para llevar a cabo la validación se han elegido como elementos de retención representativos de estas determinaciones, filtros de fibra de vidrio y de cloruro de polivinilo, incluyéndose también en el ensayo el conjunto "portafiltro + filtro" utilizado por el muestreador del IOM, fabricado en dos tipos de material, plástico y acero (véase la tabla A.1).

El ensayo se lleva a cabo pesando, para cada uno de los elementos de retención seleccionados, un número F de elementos de retención (seis en este caso) de un conjunto de lotes de elementos de retención diferentes B (cinco en este caso). Las pesadas se han efectuado con una balanza de seis cifras (resolución de 1 µg).

El procedimiento aplicado, para cada tipo de elemento de retención, ha sido el siguiente:

A.1.1 Todos los elementos de retención se han acondicionado a una humedad relativa del 53 % en una cámara de humedad controlada. Asimismo, todos los elementos de retención se han pasado por un dispositivo para eliminar cargas electrostáticas justo antes de realizar la pesada.

A.1.2 En las condiciones ambientales controladas de una sala de balanzas, se han pesado cada uno de los elementos de retención tal y como se describe en el apartado 7.4.2.

A.1.3 Una vez realizada la pesada inicial, se han montado los elementos de retención en el muestreador, y se han mantenido durante una semana en otra área distinta de la sala de balanzas.

A.1.4 Transcurrido ese tiempo se han vuelto a pesar, según 7.4.2., en condiciones similares a las iniciales.

NOTA: La humedad de la sala de balanzas, en el momento de las pesadas, se ha mantenido en el intervalo de humedad relativa de ± 5% entre pesada inicial y final. Así mismo, la diferencia de temperatura de la sala de balanzas entre las pesadas iniciales y finales ha sido siempre inferior a 4 °C.

A.2 Determinación de la incertidumbre

La incertidumbre asociada a la determinación gravimétrica, así como los límites de detección y cuantificación del procedimiento, se han determinando siguiendo los criterios establecidos en la Norma ISO 15767 (10.14.) para una situación específica en la que la determinación se efectúa por diferencia de pesadas y la inestabilidad de la pesada es corregida mediante la utilización de elementos de retención en blanco.

Las componentes de la incertidumbre que provienen de factores que afectan al resultado, como la balanza, el empuje del aire, la temperatura, la calibración, la deriva, la electricidad estática, etc., están incluidas en la estimación de la incertidumbre.

A.2.1 Variación de peso del elemento de retención

La variación de peso (P) para cada uno de los elementos de retención se ha calculado como la diferencia entre la media de las pesadas finales e iniciales (véase 8.1.), de acuerdo con la expresión:

$$P = (P_2 - P_1)$$

donde:

P₁ es el valor medio de las tres pesadas iniciales del elemento de retención, en mg

P₂ es el valor medio de las tres pesadas del elemento de retención realizadas al cabo de 1 semana, en mg

A.2.2 Cálculo de la desviación típica

Para cada lote, se ha calculado la desviación típica (S_b) de los elementos de retención ensayados mediante la fórmula:

$$S_b = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^F (P_i - \bar{P})^2}{F - 1}}$$

donde:

F es el número de elementos de retención por lote, que ha sido de seis

P_i es la variación de peso de cada elemento de retención, en mg

\bar{P} es el valor medio de las variaciones de los elementos de retención ensayados, en mg

A.2.3 Cálculo de la desviación típica promediada

La desviación típica promediada (S) se calcula a partir de las desviaciones típicas de cada lote, con [(6-1) x 5] grados de libertad mediante la expresión:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^B S_{bi}^2}{B}}$$

siendo B el número de lotes ensayados, cinco, para cada tipo de elemento de retención.

A.2.4 Determinación de la incertidumbre

La componente de la incertidumbre debida a la determinación gravimétrica (u_w) se puede calcular aplicando la corrección mediante elementos de retención en blanco de acuerdo con la expresión:

$$u_w = \sqrt{s^2 \times [1 + (1/N_b)]}$$

siendo N_b el número de blancos utilizados para efectuar la corrección, tres en este caso.

A.2.5 Determinación del límite de detección y cuantificación

A partir del valor de u_w se calculan el límite de detección (LD) y el límite de cuantificación (LC) de la determinación gravimétrica de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$LD = 3 \times u_w$$

$$LC = 10 \times u_w$$

A.2.6 Determinación de la incertidumbre expandida

La incertidumbre expandida (U) asociada a la determinación gravimétrica se obtiene según la siguiente expresión:

$$U = k \times u_w$$

donde k es el factor de cobertura.

NOTA: Un factor de cobertura $k = 2$ proporciona un intervalo de confianza aproximado del 95 %.

A.2.7 Resultados

La tabla A.1 recoge los resultados del ensayo mostrando las diferencias obtenidas en las pesadas para cada elemento de retención y lote ensayado. La tabla A.2 muestra, en síntesis, los resultados de la validación para cada uno de los elementos de retención ensayados.

Tabla A.1

Diferencia, en microgramos, de la masa de los elementos de retención ensayados

ELEMENTO DE RETENCIÓN	Nº FILTRO	LOTE 1	LOTE 2	LOTE 3	LOTE 4	LOTE 5	Desviación típica promediada (para 25 gl)
Filtro de fibra de vidrio 37 mm y 1 µm	1	17	46	47	20	29	
	2	18	39	47	26	21	
	3	14	46	44	35	16	
	4	14	39	47	36	21	
	5	11	43	49	34	19	
	6	-11	47	48	45	18	
	Desviación típica (s_b)	10,82	3,62	1,67	8,66	4,50	s = 6,76
Filtro de fibra de vidrio 25 mm y 1 µm	1	13	14	25	22	13	
	2	14	-4	17	15	14	
	3	6	9	14	15	20	
	4	17	12	17	18	14	
	5	14	11	5	18	14	
	6	7	14	15	19	14	
	Desviación típica (s_b)	4,36	6,80	6,44	2,64	2,57	s = 4,91
Filtro de PVC 37 mm y 5 µm	1	0	0	2	-4	-2	
	2	-1	-3	2	-3	-3	
	3	-3	-2	-2	-3	-2	
	4	-2	0	0		-2	
	5	-1	-3	1	-5	-6	
	6	-2	-2	1	-2	-7	
	Desviación típica (s_b)	1,05	1,38	1,52	1,14	2,26	s = 1,52
Portafiltro IOM de plástico + Filtro de fibra de vidrio 25 mm 1 µm	1	-10	-12	-10	39	4	
	2	1	-27	-10	39	1	
	3	-4	18	-13	49	10	
	4	7	6	-9	46	7	
	5	-6	4	-12	45	6	
	6	-6	1	-18	43	5	
	Desviación típica (s_b)	6,07	15,71	3,29	3,99	3,02	s = 7,99

ELEMENTO DE RETENCIÓN	Nº FILTRO	LOTE 1	LOTE 2	LOTE 3	LOTE 4	LOTE 5	Desviación típica promediada (para 25 gl)
Portafiltro IOM de acero + Filtro de fibra de vidrio 25 mm 1 µm	1	28	25	-14	8	11	
	2	19	20	-14	7	7	
	3	20	14	-19	20	15	
	4	17	17	-2	8	1	
	5	17	14	-7	10	-3	
	6	19	8	-9	10	3	
	Desviación típica (s_b)	4,10	5,82	6,05	4,81	6,66	$s = 5,56$

Tabla A.2

Resultados del ensayo de validación expresados en microgramos

ELEMENTO DE RETENCIÓN	Incertidumbre (u_w)	Incertidumbre Expandida ($U = 2 \times u_w$)	Límite de detección (LD)	Límite de cuantificación (LC)
Filtro de fibra de vidrio 37 mm y 1 µm	7,8	16	23	78
Filtro de fibra de vidrio 25 mm y 1 µm	5,7	11	17	57
Filtro de PVC 37 mm y 5 µm	1,7	3	5	17
Portafiltro IOM de plástico + Filtro de fibra de vidrio 25 mm 1 µm	9,2	18	28	92
Portafiltro IOM de acero + Filtro de fibra de vidrio 25 mm 1 µm	6,4	13	19	64

NOTA: La incertidumbre (u_w) considera únicamente la componente de incertidumbre asociada a la determinación gravimétrica. Para estimar la incertidumbre típica combinada del método de toma de muestra y análisis habrá que considerar, además, la contribución de las componentes asociadas a la eficacia de muestreo, al volumen de aire muestreado y al transporte y almacenamiento de las muestras.

ANEXO B

Muestreadores para aerosoles

Los aerosoles que se encuentran en los lugares de trabajo presentan un amplio intervalo de tamaño de partículas, que puede oscilar entre 0,001 μm y 100 μm . La distribución de estos tamaños depende del tipo de operación industrial que se lleve a cabo.

Por otra parte, únicamente las partículas del aerosol con unos determinados diámetros aerodinámicos pueden alcanzar y depositarse en determinadas zonas de las vías respiratorias. En este sentido, la norma UNE-EN 481 (10.2.) define una serie de fracciones y los convenios para su toma de muestra en los que se especifica, para cada diámetro aerodinámico, el porcentaje de partículas que tiene que ser recogido por el muestreador.

Para ello, los muestreadores utilizados para captar las diferentes fracciones del aerosol (inhalable, torácica o respirable) deben adecuarse a sus correspondientes convenios. Así, un muestreador cumple con un convenio cuando para los distintos diámetros aerodinámicos de ese convenio no se separa más del 30 % de la curva ideal que describe dicho convenio (10.13.).

B.1 Factores que afectan a su funcionamiento

Las principales variables que afectan a la eficacia de muestreo son el diámetro aerodinámico de las partículas y la velocidad y dirección del viento. En el caso de los muestreadores de las fracciones torácica y respirable, además de estas variables, también hay que considerar la variabilidad entre las diferentes unidades de un mismo muestreador y las variaciones del caudal de muestreo.

B.2 Dificultades para ajustarse a los convenios

Algunos muestreadores de la fracción inhalable presentan dificultades para el cumplimiento del convenio establecido cuando la velocidad del viento es elevada y cuando se generan partículas grandes con un gran momento de inercia. En general, estas situaciones conducen a una subestimación de la fracción inhalable.

Al igual que los muestreadores de la fracción respirable, los muestreadores de la fracción torácica se ven afectados por velocidades de viento altas y su eficacia puede disminuir cuando la concentración del aerosol es elevada.

Por otra parte, los nuevos ciclones diseñados para ajustarse al convenio de la fracción respirable recogido en la norma UNE-EN 481 incorporan modificaciones en sus dimensiones y geometría del orificio de entrada. En este sentido, estudios realizados con muestreadores utilizados previamente a la publicación de dicha norma indican la necesidad de utilizar factores de corrección para ajustar su eficacia de retención, por lo que la decisión de su empleo en el muestreo supone conocer esta limitación por parte del usuario.

Finalmente, los muestreadores que recogen de forma simultánea más de una fracción se ven afectados por las condiciones ya citadas, además de existir la posibilidad de que las partículas puedan pasar de una fracción a otra una vez han sido recogidas por el muestreador.

B.3 Tipos de muestreadores

El informe técnico CEN/TR 15230 (10.12.) incluye, con carácter informativo, los muestreadores (disponibles en el mercado en el año 2004) que cumplen con las especificaciones de las normas UNE-EN 481 y UNE-EN 13205 para determinadas condiciones ambientales. No todos los muestreadores cumplen con los requisitos para todas las condiciones ambientales posibles y es el usuario quien debe verificar que el muestreador tiene un comportamiento aceptable para las condiciones en las que se va a utilizar.

La tabla B.1 recoge, para las distintas fracciones del aerosol, los muestreadores personales incluidos en el informe técnico citado, el elemento de retención y el caudal de muestreo recomendado. Las características detalladas de cada muestreador se pueden consultar a sus respectivos fabricantes.

Por otra parte, es importante señalar que el muestreador que se ha venido utilizando habitualmente, cassette de poliestireno de 37 mm de diámetro, no aparece en el informe ya que no cumple con los requisitos establecidos en las normas UNE-EN 481 y UNE-EN 13205 y por lo tanto, no es recomendable su uso para captar la fracción inhalable del aerosol.

Tabla B.1

Muestreadores recogidos en el informe CEN/TR 15230 (2004)

Fracción del aerosol	Muestreador personal	Caudal de muestreo l/min	Elemento de retención	Fabricante
Inhalable	IOM	2	Filtro de 25 mm en portafiltro	SKC
	PGP-GSP 3,5	3,5	Filtro de 37 mm	GSM
	PGP-GSP 10	10	Filtro de 37 mm	GSM
	BUTTON	4	Filtro de 25 mm	SKC
	CIP-10I	10	Espuma	Arelco
	PAS-6	2	Filtro de 25 mm	No disponible
Torácica	CIP 10T	7	Espuma	Arelco
	GK 2.69	1,6	Filtro de 37 mm	BGI
	PEM 200	2	Filtro de 37 mm	MSP
		4		
Respirable	IOM Multidust	2	Filtro de 25 mm en portafiltro	SKC
	CIP 10R	10	Espuma	Arelco
	GK 2.69	4,2	Filtro de 37 mm	BGI
	SIMPEDS	2,2	Filtro de 25 mm	Casella
	Ciclón polvo respirable	2,2	Filtro de 25 mm	BGI
	Ciclón aluminio	2,5	Filtro de 25 ó 37 mm	SKC
	Ciclón plástico conductor	2,2	Filtro de 25 ó 37 mm	SKC
	PGP-FSP 2	2	Filtro de 37 mm	GSM
	PGP-FSP 10	10	Filtro de 37 mm	GSM
	Ciclón nylon 10 mm	1,7	Filtro de 37 mm	Panametrics
Inhalable y Respirable	IOM Multidust	2	Espuma y filtro de 25 mm en portafiltro	SKC
Inhalable, Torácica y Respirable	Respicon	3,11	Filtro de 37 mm	HundTSI

NOTA: La norma UNE-EN 13205 describe un procedimiento para establecer la equivalencia entre un instrumento a evaluar y un muestreador de referencia en un lugar de trabajo (10.13.). Dicho procedimiento permite al usuario realizar mediciones de la concentración de la materia particulada con instrumentos que no se han evaluado en ensayos de laboratorio pero que se ha demostrado que dan resultados similares a los muestreadores ensayados.

ANEXO C

Elementos de retención

La elección del tipo de elemento de retención a utilizar en el muestreo (filtros o espumas principalmente) dependerá de una serie de factores que van a condicionar, en mayor o menor medida, tanto la toma de muestra como la determinación gravimétrica posterior. Los principales factores son:

C.1 Dimensión y tamaño de poro

Cada muestreador tiene una geometría diferente y, por tanto, únicamente permite el uso de determinados elementos de retención. Así, los hay que admiten un elemento de retención de 25 mm de diámetro mientras que en otros se utiliza de 37 mm. Otro factor a considerar es el tamaño de poro del elemento de retención. Por ejemplo, en el caso del muestreador Button (véase tabla B.1), el fabricante recomienda que los filtros tengan un tamaño de poro igual o superior a 1 μm .

C.2 Eficacia de retención

Tanto los filtros de fibra como los de membrana, al emplearse como elementos de retención, se caracterizan por una alta eficacia de retención cercana al 100 % (5.1.4.). En los primeros, las partículas se recogen en toda la estructura del filtro mientras que, en los segundos, las partículas solamente se recogen en la superficie del filtro y, por lo tanto, los filtros de membrana presentan una menor capacidad de carga, llegándose a obstruir rápidamente.

Por otra parte, las espumas de poliuretano presentan una alta eficacia de retención ya que recogen las partículas tanto en la superficie como en los intersticios de las espumas, pero se ven sensiblemente afectadas por la humedad, por lo que es recomendable el uso de blancos durante la determinación gravimétrica.

C.3 Pérdida de carga

La pérdida de carga que generan los filtros depende de la naturaleza de los mismos y de su tamaño de poro. En general, a mayor tamaño de poro, menor es la pérdida de carga que se produce y, en particular, los filtros de fibra de vidrio presentan menor pérdida de carga que los de cloruro de polivinilo. Las espumas de poliuretano presentan bajas pérdidas de carga.

C.4 Humedad

Durante el muestreo, la humedad puede producir un aumento de la pérdida de carga que puede afectar, incluso, al correcto funcionamiento de la bomba de muestreo. Durante la determinación gravimétrica, la humedad puede llegar a producir variaciones del peso del elemento de retención que podrían ocasionar resultados anómalos. Los filtros de fibra de vidrio y los de cloruro de polivinilo no se ven especialmente afectados por la humedad. Sin embargo, las espumas de poliuretano se caracterizan por su elevada capacidad de absorción de la humedad, lo que complica enormemente la pesada.

Por otra parte, en el caso del muestreador del IOM, al tener que pesarse conjuntamente filtro y portafiltro, las variaciones de humedad también pueden afectar al conjunto, especialmente cuando el portafiltro utilizado es de plástico. Para determinaciones gravimétricas más precisas con el muestreador del IOM existe la posibilidad de sustituir el portafiltros de plástico por uno de acero inoxidable. En este caso la pesada es más estable al verse afectada en menor medida por las variaciones de humedad entre las pesadas.

C.5 Electricidad estática

Durante la toma de muestra las cargas electrostáticas pueden provocar que algunas de las partículas del aerosol no se depositen sobre el elemento de retención. Este factor afecta especialmente a los filtros de cloruro de polivinilo tanto en el muestreo como en la determinación gravimétrica.

ANEXO D

Bombas de muestreo

Este anexo contiene información sobre las características que deben reunir las bombas que se utilizan para la toma de muestras de aerosoles. Incluye un procedimiento recomendado para el ajuste de las mismas al caudal requerido e información útil para la selección, verificación y mantenimiento de las bombas de muestreo y de los medidores de caudal.

D.1 Características de las bombas

La norma UNE-EN 1232 "Atmósferas en el lugar de trabajo. Bombas para el muestreo personal de agentes químicos. Requisitos y métodos de ensayo", que se aplica a las bombas cuyo caudal volumétrico está comprendido en el intervalo de 5 ml/min a 5 l/min, clasifica las bombas según su utilización prevista en bombas de Tipo G (bajo caudal) y de Tipo P (alto caudal), siendo estas últimas las indicadas para el muestreo personal de materia particulada a caudales entre 1 l/min y 5 l/min y pérdidas de carga entre 0,1 kPa y 6,25 kPa.

La norma UNE - EN 12919 se aplica a bombas con caudales superiores a 5 l/min. Esta norma requiere que el caudal debe mantenerse constante dentro de $\pm 5\%$, pero no especifica ningún intervalo de pérdida de carga.

Estas normas especifican los requisitos de funcionamiento de las bombas así como los métodos de ensayo a los que se han de someter para verificar su conformidad con la norma.

D.1.1 Selección de la bomba a utilizar en la toma de muestra

La selección de la bomba se llevará a cabo considerando una serie de factores:

- La bomba debe cumplir lo establecido en las correspondientes normas UNE-EN 1232 o UNE-EN 12919.
- La bomba ha de cubrir el intervalo del caudal volumétrico requerido por cada muestreador (véase el anexo B).
- El fabricante debe proporcionar los valores de la pérdida de carga, para los distintos caudales, que la bomba puede soportar sin que el caudal inicial varíe más del 5 %.
- Otros factores relacionados con las prestaciones tales como: la facilidad de la puesta en marcha de la bomba y del ajuste del caudal de muestreo, la autonomía de funcionamiento, el intervalo de temperatura y humedad en los cuales el caudal permanece estable, el tiempo de carga de las baterías, el peso de la bomba y el ruido que emite, etc.
- Si los muestreos han de realizarse en lugares en los que existe riesgo de explosión, la bomba de muestreo deberá cumplir los requisitos de la norma UNE 21814 (EN 50014).

D.1.2 Programa de verificación y mantenimiento de las bombas

Las características de funcionamiento de las bombas de muestreo pueden variar a lo largo de su vida útil y, por tanto, es recomendable comprobar que dichas características se mantienen en el tiempo.

La bomba utilizada conjuntamente con los elementos de retención puede verse afectada por las elevadas pérdidas de carga que limitan, con el uso, tanto el intervalo de operación como su autonomía de funcionamiento. Por ello, es conveniente establecer un programa de verificación de las características de funcionamiento de las bombas, que permita tener un conocimiento continuado del estado de las mismas y posibilite, para cada muestreo, la selección de la bomba más adecuada. Estos ensayos pueden ser llevados a cabo por el propio usuario, quien establecerá la periodicidad de los mismos teniendo en cuenta la frecuencia de uso de cada bomba y los resultados de verificaciones anteriores.

En este sentido, los ensayos para comprobar la estabilidad del caudal con el aumento de la pérdida de carga, autonomía de funcionamiento, interrupción del flujo del aire, dependencia de la temperatura, etc., pueden realizarse siguiendo las recomendaciones recogidas en el documento CR-01/2006 del INSHT (10.17.).

Otro elemento importante dentro de un programa de mantenimiento de las bombas son las baterías y el filtro incorporado en la propia bomba que impide que las partículas dañen su mecanismo interno. El programa de mantenimiento se debería establecer siguiendo las instrucciones detalladas por el fabricante sobre las características de las baterías (permanecer cargadas o descargadas), sobre el tiempo estimado para el cambio del filtro interno, etc., así como sobre cualquier otro factor que pueda afectar al funcionamiento de las bombas.

Asimismo, es recomendable disponer de una hoja de verificación y mantenimiento donde se indique: la fecha de adquisición, los resultados de las verificaciones, la información sobre los ciclos de carga y descarga, así como las horas de funcionamiento y condiciones en las que se han utilizado. Incluir las fechas de cambio de la batería y del filtro puede ser de utilidad.

D.2 Calibración de la bomba

El procedimiento de calibración consiste básicamente en un ajuste y medición del caudal antes de la toma de muestra y una nueva medición de éste tras haber realizado el muestreo.

Es aconsejable que el ajuste del caudal se realice en el lugar de trabajo en el que se van a tomar las muestras para que no exista diferencia entre las condiciones ambientales de la calibración y del muestreo. No obstante, si se ha verificado que la bomba mantiene el caudal constante con la temperatura, la calibración puede llevarse a cabo en un lugar distinto al de trabajo.

D.2.1 Procedimiento recomendado para la calibración

La calibración se realiza conectando en serie un calibrador (medidor de volumen o de caudal), un muestreador con el elemento de retención incorporado y una bomba de muestreo.

Con el fin de evitar posibles contaminaciones, la calibración de la bomba se lleva a cabo con un “muestreador de calibración” utilizado específicamente para ello, que incluirá un elemento de retención del mismo lote que el utilizado en el muestreo.

El calibrador debe ser un medidor de volumen o de caudal calibrado cuyo intervalo de medida incluya el caudal a muestrear. Es recomendable utilizar un medidor primario ya que sus lecturas son independientes de la presión y la temperatura. El medidor de burbuja de jabón es uno de los medidores primarios más utilizados en la calibración.

D.2.1.1 Ajuste y medición del caudal previo a la toma de muestra

- Se comprueba que la batería de la bomba está completamente cargada.
- Se conecta en serie el calibrador (medidor de volumen o de caudal), un muestreador con el elemento de retención incorporado y una bomba de muestreo.
- Se pone en marcha la bomba y se esperan aproximadamente 5 minutos para su estabilización.
- Se ajusta el caudal de la bomba a un valor lo más próximo posible al caudal que recomienda el fabricante del muestreador y se mide el caudal. Se repite el proceso hasta alcanzar el valor requerido.
- Se realizan, al menos, tres mediciones del caudal y se toma como caudal inicial de muestreo la media aritmética de las mediciones.

D.2.1.2 Medición del caudal posterior a la toma de muestra

- Se conecta de nuevo el “muestreador de calibración” al calibrador y a la bomba en la forma descrita en la calibración previa.
- Se realizan, al menos, tres mediciones del caudal. Se toma como caudal final la media aritmética.

D.3 Medidores de volumen o caudal

Los medidores de volumen o caudal son equipos imprescindibles para la calibración de las bombas y se seleccionarán de forma que su intervalo de medida sea adecuado al caudal que se va a medir.

Entre los medidores primarios más utilizados están los denominados “húmedos”, como los de burbuja de jabón. En estos medidores, el caudal se determina midiendo el tiempo que tarda una burbuja de jabón en atravesar un volumen conocido.

Los medidores secundarios son menos exactos que los primarios. Los rotámetros pertenecen a este grupo de medidores y se deben calibrar frente a un medidor primario bajo las mismas condiciones de presión y temperatura en las que se van a utilizar. Si se calibran en condiciones diferentes, puede ser necesario realizar una corrección matemática del caudal. Por ello, es aconsejable que sólo se utilicen como indicadores de caudal.

El funcionamiento correcto de los medidores de caudal es un factor crítico para garantizar la fiabilidad de la determinación del volumen de aire muestreado. Por ello, es importante establecer para estos equipos programas de mantenimiento y calibración adecuados. La calibración puede realizarla el usuario o un servicio de calibración externo.

Si la calibración la realiza el usuario, éste deberá disponer al menos de un medidor calibrado por un organismo acreditado, que le sirva como patrón de referencia para calibrar el resto de medidores. El patrón de referencia se almacenará siempre en las mismas condiciones de temperatura y humedad.



MINISTERIO
DE TRABAJO
E INMIGRACIÓN



INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO