

# Bombas de muestreo personal para agentes químicos (I): recomendaciones para su selección y uso

*Pompes d'échantillonnage personnel pour agents chimiques: recommandations pour sa sélection et utilisation*  
*Pumps of personal sampling for chemical agents: recommendations for its selection and use*

## Redactoras:

Begoña Uribe Ortega  
*Lda. en Ciencias Químicas*

M<sup>a</sup> José Quintana San José  
*Dra. en Ciencias Químicas*

CENTRO NACIONAL DE  
VERIFICACIÓN DE MAQUINARIA

*Una parte de la incertidumbre en la toma de la muestra de los contaminantes químicos proviene de factores aleatorios y/o difícilmente controlables; no así de la bomba empleada para el muestreo que, si se atiende a una serie de condicionantes en su elección, uso, mantenimiento y calibración, garantiza un buen nivel de fiabilidad. En la presente NTP se abordan estos aspectos.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La evaluación de riesgos derivados de la exposición por inhalación a un agente químico peligroso incluye la medición de las concentraciones del agente en el aire, en la zona de respiración del trabajador, y su posterior comparación con el valor límite ambiental que corresponda (Real Decreto 374/2001).

Existe una gran diversidad de métodos que se emplean para determinar o estimar la concentración de los agentes químicos en las atmósferas de los lugares de trabajo, pero cuando el objetivo de la medición es la evaluación de la exposición, los métodos a utilizar son los métodos con etapas separadas de toma de muestra y análisis. En la mayor parte de estos métodos la captación de la muestra se realiza mediante el uso de una bomba de muestreo personal que aspira el aire a través del elemento de retención (tubo adsorbente, borboteador o impinger, filtro, etc), quedando los agentes químicos retenidos en el mismo.

El volumen del aire aspirado por la bomba durante el período de muestreo es uno de los datos cuantitativos que, junto con la masa analizada, entran en el cálculo de la concentración de los agentes químicos. Es esencial que el volumen de aire muestreado se determine de forma fiable y para ello es necesario que la bomba funcione correctamente. Esto requiere que sea adecuada a las características del agente químico y a las condiciones de muestreo, que se sigan las recomendaciones del fabricante y del método a utilizar y que esté calibrada correctamente.

En este documento se aporta información sobre las características y requisitos básicos que deben reunir las bombas que operan a caudal constante que se utilizan para las tomas de muestra personales de agentes químicos y los criterios a tener en cuenta a la hora de seleccionar la bomba más adecuada para cada caso y se dan recomendaciones para una utilización y mantenimiento correctos que permitan la obtención de muestras válidas para la evaluación de la exposición laboral.

## 2. BOMBAS DE MUESTREO PERSONAL PARA AGENTES QUÍMICOS

### Tipos de bombas

Las bombas utilizadas habitualmente para la obtención de muestras en higiene industrial son bombas de las lla-

madas de diafragma ó de pistón, accionadas por un motor y alimentadas por baterías.

Para clasificar las bombas, se pueden utilizar diferentes características de su funcionamiento, pero desde el punto de vista práctico, la clasificación más útil es con relación a los caudales a los que pueden operar.

Las bombas que operan a caudales  $\leq 5$  l/min son las que habitualmente se emplean para las tomas de muestra personales, en la zona respiratoria del trabajador, y se las conoce como bombas de muestreo personal. En la mayoría de los métodos validados para la medición de gases y vapores en aire, los caudales recomendados no superan los 0,5 l/min, mientras que para la materia particulada o aerosoles los caudales recomendados se encuentran habitualmente entre 1 l/min y 5 l/min. De acuerdo a estos intervalos de caudal las bombas de muestreo personal se denominan:

- Bombas de bajo caudal, las que operan a caudales hasta 0,3 l/min. Se utilizan habitualmente para el muestreo de gases y vapores.
- Bombas de alto caudal, las que operan a caudales hasta 5 l/min. Se utilizan habitualmente para el muestreo de materia particulada.
- Bombas polivalentes, las que pueden actuar como de alto y bajo caudal.

La norma UNE-EN 1232, 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:

- Tipo P: 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.
- Tipo G: Para el muestreo personal de gases y vapores a caudales entre 5 ml/min y 300 ml/min y pérdidas de carga entre 0,01 kPa y 10 kPa.

Las bombas Tipo G y Tipo P se corresponden con las bombas de muestreo personal de bajo y alto caudal respectivamente.

Las bombas que operan a caudales  $> 5$  l/min se emplean habitualmente para tomas de muestra en lugares fijos o muestras estáticas aunque, dependiendo de sus características, se pueden utilizar también para tomas de muestra personales. En cualquier caso su uso está limitado a las tomas de muestra de aerosoles. Estas bombas constituyen el campo de aplicación de la norma UNE-EN 12919.

### Requisitos de las bombas de muestreo personal de caudal constante

Los métodos de medición que se utilicen para la evaluación de riesgos derivados de la exposición por inhalación a un agente químico peligroso deberían cumplir la normativa específica que sea de aplicación que incluye la relativa a los requisitos exigibles a los instrumentos de medida (Real Decreto 374/2001). Para las bombas de muestreo, los documentos específicos a considerar son:

- La norma UNE-EN 482 que establece los requisitos generales para los métodos de medición.
- Las normas UNE-EN 1232 y UNE EN 12919 que contienen los requisitos para las bombas de muestreo de caudal  $\leq 5$  l/min y  $> 5$  l/min.
- Las especificaciones contenidas en los métodos de medición que se apliquen en cada caso.

La norma UNE-EN 1232 está dedicada específicamente a las bombas de muestreo personal, tanto a las que funcionan a caudal constante como a las que funcionan a emboladas de volumen constante. En la Tabla 1 se recogen los requisitos más importantes. La diferencia fundamental en los requisitos de las bombas Tipo P y Tipo G son los intervalos de pérdida de carga para los que el caudal debe mantenerse constante. En la NTP 778 se trata este aspecto con más detalle.

La demostración del cumplimiento de los requisitos se realiza sometiendo la bomba a los ensayos descritos en la norma UNE-EN 1232. Estos ensayos deben ser realizados por el fabricante y las aplicaciones y los intervalos de operación que declara para la bomba se deben fundamentar en los resultados obtenidos. Algunos de los ensayos marcados con un asterisco en la tabla 1, pueden ser de utilidad para que el usuario de las bombas verifique periódicamente su funcionamiento.

Como se puede observar en la tabla 1, los requisitos funcionales, *estabilidad del caudal con el aumento de la pérdida de carga, autonomía de funcionamiento y dependencia con la temperatura*, están orientados a ase-

gurar que el caudal se mantenga constante y a conocer con exactitud el volumen de aire muestreado.

### 3. SELECCIÓN Y USO DE LAS BOMBAS DE MUESTREO PERSONAL

Las bombas de muestreo personal, al igual que el resto de los equipos que se utilizan para la toma de muestras y el análisis de agentes químicos, se seleccionarán teniendo en cuenta las especificaciones que se indiquen en los métodos de medición y la experiencia y conocimientos del usuario. Además las bombas, estarán adecuadamente calibradas y mantenidas para asegurar que, siempre que se utilicen, su funcionamiento sea correcto.

A continuación se exponen los aspectos a considerar en las distintas etapas de la vida de la bomba.

#### Adquisición

Las bombas de muestreo personal deben adquirirse entre las que cumplan los requisitos indicados en la norma UNE-EN 1232, resumidos en la tabla 1. Estos requisitos se deberían utilizar para definir las características técnicas en el momento de su adquisición. No es frecuente que se utilicen las denominaciones de Tipo P y Tipo G en los que la norma clasifica las bombas. Habitualmente se las define utilizando el intervalo de caudales en el que el fabricante declara que pueden operar o haciendo referencia a su uso para la toma de muestra de gases y vapores o de aerosoles.

En la Tabla 2 se recoge un ejemplo del tipo de información suministrada por el fabricante para una bomba Tipo G y otra Tipo P. Como se puede observar, en los dos casos los intervalos de caudal son menores que los indicados en la norma para cada tipo de bombas. Esto no quiere decir que las bombas no cumplan la norma únicamente por este hecho. Cumplir la norma no quiere decir que, necesariamente, la bomba pueda operar en todo el in-

PARÁMETRO	REQUISITO
Masa	$\leq 1,2$ kg
Resistencia mecánica	Desviación del caudal $\leq 5$ %
Seguridad del diseño	Ni ángulos vivos ni partes salientes molestas
Estabilidad del caudal con el aumento de pérdida de carga	Desviación del caudal $\leq 5$ % del caudal inicial para en todo el intervalo de caudales (*)
Autonomía de funcionamiento	2 h mínimo y preferiblemente 8 h (*)
Estabilidad del caudal con el tiempo	Desviación del caudal $\leq 5$ % del caudal inicial a dos temperaturas, ambiente y 5 °C (*)
Interrupción del flujo de aire	Parada ó activación del indicador de funcionamiento defectuoso (*)
Dependencia de la temperatura	Desviación del caudal $\leq 5$ % del valor a 20 °C en el intervalo de 5 °C a 40 °C (*)
Orientación	Desviación del caudal $\leq 5$ % del valor en posición horizontal
Exactitud del cronómetro	Desviación $< 5$ minutos en 8 horas (solo para bombas con reloj incorporado) (*)
Compatibilidad electromagnética	Conforme a UNE EN 50081-1 y UNE EN 50082-1.
Riesgo de explosión	Conforme a UNE EN 50014
Instrucciones de uso	Deben existir

Tabla 1. Resumen de los requisitos más importantes para las bombas de muestreo personal.

(\*) Requisitos a verificar total o parcialmente por el usuario (véase NTP 778)

	Bomba Tipo G	Bomba Tipo P
Intervalo de caudal	5 a 200 ml/min	0,75 a 3 l/min
Exactitud entre la lectura y el ajuste	—	± 3 %
Masa	350 g	624 g
Estabilidad del caudal con el aumento de pérdida de carga (en pulgadas de H <sub>2</sub> O)	± 5% a 25" H <sub>2</sub> O	750 ml/min a 40" H <sub>2</sub> O 2 l/min a 30" H <sub>2</sub> O 2,5 l/min a 20" H <sub>2</sub> O 3 l/min a 15" H <sub>2</sub> O
Autonomía de funcionamiento	8 h a 25" H <sub>2</sub> O	10 h (30" H <sub>2</sub> O - 3 l/min)
Interrupción del flujo de aire	Indicador de fallo y parada	Se para y mantiene los datos. Intenta auto-empezar cada 5 min hasta 10 veces
Intervalo de T <sup>a</sup>	- 20 °C a 45 °C	0 °C a 45 °C
Exactitud del cronómetro	—	1 min/mes
Riesgo de explosión	Certificado : intrínsecamente segura	Certificado : intrínsecamente segura

Tabla 2. Ejemplo de información suministrada por el fabricante para bombas que corresponderían a Tipo G y Tipo P.

tervalo de caudales sino que en el intervalo de caudales para el que el fabricante declara que opera, se cumplan los requisitos y que esta información esté fundamentada en los resultados de los ensayos a los que se debe haber sometido a la bomba.

A veces la información suministrada por el fabricante puede resultar insuficiente. Por ejemplo, uno de los casos más críticos puede darse con algunas bombas, entre las que se podrían clasificar como tipo P, para las que se indica que también pueden funcionar como tipo G utilizando un reductor de flujo, pero sin proporcionar información adicional sobre su funcionamiento en estas condiciones. El fabricante debe proporcionar esta información o indicar claramente las limitaciones de su uso como tipo G. La indicación de que una bomba es polivalente o, lo que es lo mismo, que puede funcionar como tipo G y P debe estar fundamentada en los resultados obtenidos al ensayar la bomba conforme a las condiciones de ensayo correspondientes tanto al Tipo P como al Tipo G.

### Utilización

Durante la vida útil de la bomba es muy importante tener en cuenta:

- La variación en las prestaciones de la bomba con el uso.
- Los factores que influyen en la estabilidad del caudal.
- La selección de la bomba adecuada a la toma de muestra.
- La calibración del caudal de la bomba.

#### Variación de las prestaciones de la bomba con el uso

Aunque se hayan adquirido bombas para las que el fabricante declare que cumplen la UNE-EN 1232 y especifique una desviación máxima del caudal del 5 %, esto no se puede considerar garantizado durante toda la vida de la bomba. Las especificaciones de fábrica sólo son válidas para bombas recientemente fabricadas. Además hay que tener en cuenta que son ensayos de tipo realizados en condiciones de laboratorio. Las bombas más antiguas serán normalmente menos fiables y es probable que no cumplan las especificaciones del fabricante, especialmente cuando se han utilizado bajo condiciones extremas.

Los elementos de muestreo, utilizados conjuntamente con la bomba, presentan resistencias al flujo que provocan pérdidas de carga que, con el uso, afectan al funcionamiento de la bomba y por tanto al caudal limitando los intervalos de operación.

Las características de funcionamiento que se pueden afectar en mayor medida son el intervalo de pérdida de carga y el tiempo para los que la bomba es capaz de mantener el caudal constante. Por ello, es muy conveniente establecer un plan de mantenimiento que incluya la verificación de las características de funcionamiento de la bomba.

#### Factores que influyen en la estabilidad del caudal

Entre los factores que influyen en la estabilidad del caudal de la bomba, la temperatura es, probablemente, el más importante y se debe tener en cuenta en circunstancias diferentes. El caudal se puede ver afectado por:

- Diferencias de temperatura entre la calibración y la toma de muestra. Es necesario siempre tener en cuenta esta circunstancia.
- Utilización de la bomba fuera de o en condiciones próximas a los límites de los intervalos declarados por el fabricante.
- Variaciones importantes de temperatura para muestreos consecutivos, por ejemplo una toma de muestra en condiciones normales seguida de otra en condiciones extremas.

La realización periódica por parte del usuario de los ensayos indicados en la Tabla 1 y detallados en NTP 778 permite conocer y minimizar la influencia de la temperatura y garantizar y verificar el buen funcionamiento de la bomba.

Otros factores que influyen en la estabilidad del caudal de la bomba:

- Variación de la caída de presión durante el muestreo (debido por ejemplo a la saturación del elemento de retención).
- Duración del acondicionamiento de la bomba.
- Calidad de la batería y de los componentes de la bomba.
- Disposición o no de control de flujo electrónico.

### Selección de la bomba a utilizar en la toma de muestra

Las bombas se seleccionarán teniendo en cuenta el uso al que se van a destinar, de acuerdo con las especificaciones que se indiquen en los métodos de medición y la experiencia y conocimientos del usuario.

Cuando se va a realizar una toma de muestra, se seleccionará la bomba teniendo en cuenta:

- El tipo de muestreo, es decir, si se trata de un muestreo personal ó en un lugar fijo (estático). Normalmente la bomba se colocará sujeta a la persona pero, según las circunstancias y condiciones del lugar de trabajo, esto puede no ser posible o puede considerarse más conveniente el muestreo en un lugar fijo que simule una muestra personal.
- Los agentes químicos que están presentes en el aire del lugar de trabajo.
- Los valores límite y su periodo de referencia.
- En el caso de aerosoles, cuál es la fracción a muestrear. Por ejemplo, la inhalable o la respirable.
- Las características de los agentes químicos en el aire, es decir, si están presentes como gases ó vapores, como aerosoles o si se trata de mezclas de aerosoles y vapores de un único agente químico o de varios.
- El elemento de retención o captación a utilizar, por ejemplo, tubo adsorbente, filtro, impinger, tubo adsorbente y filtro, etc.
- Los caudales y tiempos de toma de muestra recomendados en el método de medición.

La información sobre los cuatro últimos puntos se puede y debe obtener del método de medición correspondiente que sea de aplicación a la determinación de la exposición a realizar. El primer punto se decidirá en cada caso considerando los condicionantes del lugar de trabajo a evaluar. La información sobre los valores límite se obtendrá del documento "Límites de Exposición Profesional para agentes químicos en España", vigente en el momento de realizar la evaluación.

### Calibración del caudal

La calibración de la bomba comprende dos pasos:

- Ajuste del caudal que se requiera utilizando el dispositivo del que la bomba debe venir provista para tal fin y
- Medición del caudal utilizando un medidor de volumen ó de caudal calibrado, preferentemente primario.

Desde el punto de vista de la frecuencia de calibración, las bombas pertenecen al grupo de equipos que se clasificarían en "calibrar antes de usar". Con el fin de minimizar la influencia de los factores indicados anteriormente, es recomendable seguir el procedimiento de calibración que se detalla a continuación.

El procedimiento consiste básicamente en realizar una calibración antes y otra después del periodo de toma de muestra, en el mismo lugar de trabajo en el que se van a tomar las muestras. Así, la calibración y la toma de muestra se realizan a la misma temperatura.

Si la calibración se realiza únicamente en el laboratorio, la diferencia entre las temperaturas de calibración y de toma de muestra puede dar lugar a diferencias superiores a  $\pm 10\%$  entre el caudal medido en el laboratorio y el caudal de toma de muestra, respecto del caudal medido en el laboratorio.

El procedimiento recomendado para la calibración del caudal exige actuaciones antes, durante y después de la toma de muestra.

Antes de la toma de muestra:

- Se pone en marcha la bomba y se espera aproximadamente 5 minutos para su estabilización.
- Se conecta la salida de la bomba a un elemento de muestreo (tubo adsorbente, borboteador, selector de partículas, etc.) y la salida de éste a un calibrador. El calibrador debe ser un medidor de volumen o de caudal calibrado cuyo intervalo de medida sea lo más próximo posible al caudal que se desea.
- Se ajusta el caudal de la bomba dentro del  $\pm 5\%$  del caudal recomendado por el método de toma de muestra y análisis a utilizar, y se mide el caudal. Si la lectura del caudal es mayor o menor del  $5\%$  del caudal deseado, se ajusta de nuevo la bomba hasta alcanzar el valor del caudal requerido.

Por ejemplo, si se desea llevar a cabo una toma de muestra a 200 ml/min con un tubo estándar de carbón activo, el caudal se debería ajustar entre 190 ml/min y 210 ml/min utilizando un tubo de carbón activo del mismo lote que el que se va utilizar en la toma de muestra.

- Se realizan, al menos, tres mediciones del caudal. Se toma como caudal inicial de muestreo la media aritmética de los resultados obtenidos en las tres mediciones.
- Se retira el calibrador y el elemento de retención utilizado en la calibración, dejando la bomba en funcionamiento.

Durante el periodo de toma de muestra:

- Se conecta un elemento de retención diferente al utilizado en la calibración (por ejemplo, otro tubo estándar de carbón activo), justo antes de comenzar la toma de muestra y se anota el tiempo de inicio de la toma de muestra.
- Durante la toma de muestra se verifica visualmente que la bomba funciona correctamente observando, por ejemplo, el rotámetro u otros indicadores y anotando las incidencias que puedan tener lugar (por ejemplo, cambios de ruido, parada, etc).
- Se anota la temperatura y la presión barométrica.
- Se anota el tiempo de finalización de la toma de muestra.

Después de la toma de muestra:

- Sin parar la bomba, se retira el elemento de muestreo utilizado en la toma de muestra, se cierra y se etiqueta convenientemente.
- Se conecta el conjunto, calibrador y elemento de retención, utilizado en la calibración previa a la toma de muestra.
- Se realizan, al menos, tres mediciones del caudal y se para la bomba. Se toma como caudal final la media aritmética de las tres mediciones.

### Cálculo del caudal y volumen de toma de muestra

Generalmente, para el cálculo del volumen de toma de muestra se utiliza la media aritmética de las determinaciones del caudal realizadas antes y después de la toma de muestra.

Si se hace una medición intermedia del caudal y se reajusta durante la toma de muestra, se tendrán en cuenta los caudales intermedios para el cálculo del volumen de toma de muestra. En este caso, el periodo completo de toma de muestra se divide en dos subperiodos, el primero desde el inicio (de la toma de muestra) hasta la medición intermedia del caudal y reajuste y el segundo desde este momento hasta el final de la toma de muestra. Para

cada subperíodo, el caudal se calcula como la media aritmética de los caudales al inicio y al final del subperíodo. El volumen de toma de muestra se calcula como la suma de los volúmenes calculados independientemente para cada subperíodo teniendo en cuenta el tiempo que corresponde a cada uno de ellos.

### Programa de mantenimiento y verificación de las bombas

El objetivo de un Programa de mantenimiento y verificación es que las bombas se encuentren siempre en perfecto estado de uso. Un programa de este tipo adecuadamente establecido y llevado a la práctica, permite tener un conocimiento continuado del estado de las características de las bombas y por tanto posibilita la selección de la bomba más adecuada a cada situación.

#### Verificación de las características de las bombas

En el apartado de utilización de la bomba se han expuesto los factores que pueden afectar al funcionamiento de la bomba y producir modificaciones de los parámetros operativos a lo largo de su vida útil. Por esta razón es muy recomendable comprobar de qué forma van cambiando dichas características en condiciones de laboratorio y para ello establecer un plan de verificación periódica de las bombas.

Es conveniente que el plan incluya la verificación de las características de funcionamiento más relevantes, es decir de las que afectan a la estabilidad del caudal. En NTP Bombas II se proporciona información detallada de los ensayos con algunos ejemplos de aplicación.

La verificación puede ser:

- Interna cuando el propio usuario realiza los ensayos en su laboratorio.
- Externa cuando se encarga a un laboratorio externo ó al propio fabricante. Se pedirá que emitan un informe de verificación de la bomba que incluya los ensayos llevados a cabo y los resultados obtenidos y se debería hacer referencia a la norma UNE EN 1232.

#### Mantenimiento de las bombas

Desde el punto de vista del mantenimiento de las bombas, la parte más crítica son las baterías. El programa de mantenimiento se establecerá siguiendo las instrucciones de mantenimiento detalladas por el fabricante, como por ejemplo si las baterías deben mantenerse cargadas ó descargadas. Las operaciones de mantenimiento incluidas en el programa, así como su frecuencia deberían formar parte del "Manual de uso de la bomba" que, a su vez, debería formar parte del Manual de Calidad. Es conveniente que se incluya también una descripción resumida de las operaciones a realizar para la utilización de la bomba.

En cuanto al programa de verificación y mantenimiento, el usuario establecerá la periodicidad con que se deben realizar los ensayos teniendo en cuenta el uso de las bombas y los resultados obtenidos en verificaciones anteriores.

Es conveniente disponer de una hoja de control de bombas, en la cual se debería de indicar, al menos:

- La fecha de adquisición de la bomba.
- Una referencia que la identifique, definida por el laboratorio.
- Los resultados de los ensayos de verificación (por ejemplo, desviación del caudal en % durante el ensa-

yo de la autonomía de funcionamiento, exactitud del cronómetro, intervalo de pérdida de carga en el que funciona correctamente, etc).

- La fecha de la última vez que fue utilizada (condiciones ambientales de calibración, resultados obtenidos, caudal y duración de la toma de muestra, condiciones ambientales del lugar de trabajo, etc).
- Información sobre el medidor de caudal utilizado en la calibración de la bomba (por ejemplo, de volumen, caudal, de área variable etc).
- La fecha de cambio de la batería.
- Cualquier otra indicación que pueda ser de utilidad.

## 4. SELECCIÓN Y USO DE LOS MEDIDORES DE VOLUMEN O CAUDAL

Los medidores de volumen o caudal utilizados para la calibración de la bomba se seleccionarán de forma que su campo de medida sea adecuado al caudal que se va a medir, es decir, al caudal al que se debe ajustar la bomba. Así, por ejemplo, para una bomba Tipo G, un valor adecuado para el límite superior del campo de medida del medidor de caudal sería 500 ml/min y para una de Tipo P el campo de medida debería ser como mínimo de 500 ml/min a 5 l/min.

Los medidores de volumen o caudal son equipos imprescindibles para la calibración de las bombas. Desde el punto de vista de sus prestaciones metrológicas pueden ser primarios o secundarios.

### Medidores primarios

En los medidores primarios, la medición del caudal se fundamenta en la determinación directa de volúmenes y tiempos. Como las determinaciones de ambas magnitudes se realizan simultáneamente, la determinación del caudal es, a efectos prácticos, independiente de la temperatura y de la presión, cuando todos los elementos se encuentran en las mismas condiciones. Entre Los medidores primarios más utilizados están los siguientes:

- Medidores húmedos 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. El caudal, en ml/min, se calcula dividiendo el volumen atravesado por la burbuja en ml por el tiempo empleado en atravesarlo, en min. Pueden ser:
  - Manuales, como la denominada bureta invertida.
  - Electrónicos. Disponen de un sensor de flujo electrónico, llamado "ojo electrónico", que mide automáticamente el tiempo que tarda la burbuja en atravesar un volumen fijo. Pueden mejorar la exactitud de la medida del tiempo respecto de los manuales y realizan el cálculo del caudal automáticamente.
- Medidores secos de pistón. Miden electrónicamente el tiempo que tarda un pistón de baja resistencia al flujo en atravesar un volumen determinado y a partir de ello calculan el caudal.

### Medidores secundarios

Los medidores secundarios son menos exactos que los primarios y deben ser calibrados frente a estos. Los rotámetros, con los que las bombas de muestreo suelen estar equipadas, pertenecen a este grupo de medidores.

Otros medidores secundarios son los orificios medidores, orificios críticos, etc.

Los rotámetros son medidores de caudal de área variable a los que afectan los cambios de temperatura y presión atmosférica. Por ello, sólo se utilizarán como indicadores de caudal 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 a las que se van a utilizar, puede ser necesario realizar una corrección matemática del caudal.

### Mantenimiento y calibración de los medidores de caudal

El funcionamiento correcto de los medidores de caudal es un factor crítico para asegurar la fiabilidad de la determinación del volumen de aire muestreado. Por ello, es importante establecer para estos equipos programas de mantenimiento y calibración adecuados que deberían formar parte de los correspondientes documentos del Manual de Calidad.

El programa de mantenimiento, detallando las operaciones a realizar y su frecuencia, se establecerá teniendo en cuenta las instrucciones del fabricante y la experiencia y necesidades del usuario.

La calibración puede ser realizada por el propio laboratorio ó por un servicio de calibración externo.

Si la calibración se lleva a cabo por un servicio de calibración externo, el usuario decidirá el intervalo y las condiciones de calibración. Como mínimo, pedirá:

- que el equipo se calibre, al menos, en tres puntos que cubran su intervalo de medida óptimo y

- que el certificado de calibración se entregue con el equipo e indique las condiciones ambientales de presión y temperatura a las que se ha efectuado la calibración, la incertidumbre obtenida y el factor de cobertura utilizado en su cálculo.

Si la calibración se lleva a cabo por el usuario en su laboratorio, 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. El usuario dispondrá también de un procedimiento de calibración interno escrito que describa con todo detalle las operaciones a seguir para realizar la calibración de los medidores y como utilizar los resultados obtenidos.

Es conveniente que todos los detalles referidos al mantenimiento y la calibración de los medidores queden reflejados en una hoja de control, que debería contener, al menos, la información siguiente:

- Una referencia que identifique inequívocamente cada equipo.
- El tipo de calibración, externa ó interna.
- La fecha de la última calibración.
- Los resultados obtenidos en la calibración.
- Cualquier otra indicación que pueda ser de interés. Por ejemplo, si la calibración es interna, se deberá incluir la información del certificado del medidor utilizado como patrón.

La periodicidad de la calibración de los medidores de caudal y el tipo de calibración, externa o interna, será establecida por el usuario, basándose en su experiencia y en los requisitos de calidad del laboratorio.

## BIBLIOGRAFÍA

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1) ARRIANDIAGA M.V, SALCEDO R.M.<br/><b>El caudal en las bombas de muestreo personal.</b><br/><i>Ibermutua, nº 12, 17-23, 1997.</i></p> <p>2) ARRIANDIAGA M.V, SALCEDO R.M.<br/><b>La comprobación de la estabilidad del caudal en las bombas de muestreo personal.</b><br/><i>Poster presentado en el XIV Congreso Mundial sobre Seguridad y Salud en el Trabajo. Madrid, 1996.</i></p> <p>3) DFG.<br/><b>Sampling and determining aerosols and their chemical components.</b><br/><i>The MAK-Collection Part III: Air Monitoring methods, Vol.9, 2005.</i></p> <p>4) FRÉVILLE L., P. MARTIN.<br/><b>Réalisation d'un banc d'essais automatisés pour les pompes individuelles de prélèvement.</b><br/><i>Cahiers de notes documentaires. ND 2107-175-99. INRS, 1999.</i></p> | <p>5) GRAVEL R.<br/><b>Evaluation de pompes personnelles d'échantillonnage. Guide technique.</b><br/><i>Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST). Québec, 1993.</i></p> <p>6) INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO<br/><b>Límites de exposición profesional para agentes químicos en España.</b><br/><i>INSHT 2007.</i></p> <p>7) INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO<br/><b>Métodos de Toma de Muestra y Análisis.</b><br/><i>INSHT. Colección 1987 - 2007.</i></p> <p>8) INSTITUT DE RECHERCHE EN SANTÉ ET EN SÉCURITÉ DU TRAVAIL<br/><b>Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milie de travail. Guide technique.</b><br/><i>IRSST. Québec, 2005.</i></p> | <p>9) <b>Real Decreto 374/2001 de 6.4</b> (Ministerio de la Presidencia, BOE 1.5.2001). Protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.</p> <p>10) <b>UNE EN 1232:1997.</b> Atmósferas en el lugar de trabajo. Bombas para el muestreo personal de los agentes químicos. Requisitos y métodos de ensayo.</p> <p>11) <b>UNE EN 12919:1999.</b> Atmósferas en el lugar de trabajo. Bombas para el muestreo de los agentes químicos con un caudal volumétrico superior a 5 l/min. Requisitos y métodos de ensayo.</p> <p>12) <b>UNE EN 482:1994.</b> Atmósferas en el lugar de trabajo. Requisitos generales relativos al funcionamiento de los procedimientos para la medición de agentes químicos.</p> <p>13) URIBE B; QUINTANA M.J.<br/><b>Bombas de muestreo personal para agentes químicos. Criterios y recomendaciones.</b><br/><i>CR-01/2005. INSHT</i></p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|