



Pérdida de carga asociada a muestreadores y elementos de retención en el muestreo de agentes químicos

Pressure drop associated with samplers and collection substrates during sampling of chemical agents
Perte de charge associée aux échantillonneurs et aux éléments de rétention lors de l'échantillonnage d'agents chimiques

Autor:

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P.

Elaborado por:

Diana Torremocha García

Beatriz Martín Pérez

CENTRO NACIONAL DE VERIFICACIÓN
DE MAQUINARIA. INSST

Esta NTP proporciona información que facilita el trabajo a desarrollar por el Técnico de Prevención en la estrategia de muestreo para la realización de mediciones en la evaluación de agentes químicos. El conocimiento de la pérdida de carga que aporta el conjunto muestreador y elemento de retención facilita la selección de la bomba para que la medición sea fiable.

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de los métodos empleados para realizar la evaluación de los riesgos derivados de la exposición laboral por inhalación a un agente químico conlleva la medición de las concentraciones del agente químico en aire para su comparación con el valor límite ambiental (VLA) (Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo).

La realización de estudios toxicológicos y epidemiológicos para determinadas sustancias ha dado lugar a la reducción de los VLA de las mismas, haciendo necesario obtener mayores volúmenes de muestreo que los que se venían utilizando hasta ahora que permitan asegurar la fiabilidad de la medición, lo que implica aumentar el caudal y/o el tiempo de muestreo.

Debido a esto, las características en lo que se refiere al tiempo de autonomía de funcionamiento y al mantenimiento del caudal con la variación de la pérdida de carga de las bombas de muestreo han de adaptarse a estas nuevas exigencias, siendo la selección de las mismas una parte fundamental dentro de la estrategia previa a la realización del muestreo.

Para una correcta selección de la bomba hay que tener en cuenta varios factores: el tipo de muestreo (ambiental o personal), los agentes químicos presentes en el aire y sus características, los valores límite y su período de referencia, la fracción a muestrear si se trata de un aerosol (respirable, torácica o inhalable), el elemento de retención que se va a utilizar, los caudales y tiempos de toma de muestras recomendados en el método y las condiciones ambientales durante el muestreo.

El aspecto que más va a influir en la elección de la bomba de muestreo es el conjunto de muestreador y elemento de retención, que proporciona una pérdida de carga que puede llegar a imposibilitar la realización del muestreo, si no se ha tenido en cuenta previamente. A efectos de esta NTP, se consideran muestreadores los dispositivos que captan el agente químico presente en

el aire que lo rodea, ya sean los tubos empleados en el muestreo de gases y vapores (figura 1) o los diversos dispositivos empleados en el muestreo de materia particulada (figura 2). El término "elemento de retención" en este documento se aplica tanto a los diversos rellenos de los tubos de muestreo de gases y vapores donde el contaminante queda adsorbido, como a los filtros y espumas que se colocan en el muestreador, donde se deposita el agente químico.

La pérdida de carga viene definida en la norma UNE-EN-ISO 13137 como "la diferencia entre la presión ambiente y la presión en la entrada de la bomba, para un caudal constante". La pérdida de carga también se denomina caída de presión y se mide con un medidor de presión diferencial a través del muestreador, el elemento de retención y el tubo.

Las unidades de medida de la pérdida de carga son, por tanto, unidades de presión, como los kilopascales (kPa) que aparecen en las normas europeas, las pulgadas de agua ("H₂O) que aparecen en los manuales de instrucciones de los fabricantes de bombas estadounidenses o los milibares (mbar) que muestran algunos medidores de presión diferencial. La equivalencia entre estas unidades se muestra en la ecuación [1]:

$$1 \text{ mbar} = 0,4 \text{ " H}_2\text{O} = 0,1 \text{ kPa} \quad [1]$$

Es importante tener en cuenta que la pérdida de carga va a variar según varíe el caudal. En muestreadores que se puedan utilizar a distintos caudales, es fundamental, por tanto, conocer la pérdida de carga correspondiente al caudal al que se va a muestrear. En los manuales de instrucciones de las bombas de muestreo aparece la pérdida de carga máxima que soporta la bomba a unos caudales determinados. En algunas ocasiones, aparecen también varios valores para un mismo caudal, uno de ellos para un tiempo determinado, generalmente de 8 horas de funcionamiento de la bomba. Por otro lado, esta pérdida de carga máxima soportada por la bomba cuando se adquiere, va a ir disminuyendo con el paso del tiempo. La prueba para

verificar el mantenimiento del caudal con la variación de la pérdida de carga, establecida en el punto 7.10 de la norma UNE-EN-ISO 13137, va a permitir verificar si se mantienen estos parámetros o si hay que limitar el uso de la bomba a una pérdida de carga menor que la indicada por el fabricante. Es posible que en otros caudales la bomba no haya perdido capacidades y la limitación sólo afecte a determinados caudales. Estos condicionantes tendrán que tenerse en cuenta para seleccionar la bomba con la que implementar la estrategia de muestreo.

Otra consideración que se debe valorar en el muestreo de agentes químicos es que la pérdida de carga inicial aportada al comienzo del muestreo se va a ir incrementando a medida que se vaya depositando el agente químico en el elemento de retención, ya que el paso del aire se va obstruyendo, por lo que habrá que contar con un margen suficientemente amplio de la pérdida de carga máxima que soporta la bomba a ese caudal y la inicialmente aportada en el muestreo, que permita seguir manteniendo el caudal dentro del límite de variación de $\pm 5\%$ que indica la norma UNE-EN-ISO 13137 respecto del caudal inicial.

Los caudales se verifican al inicio y al final del muestreo, generalmente con muestreadores y elementos de retención sin cargar, pero se debe tener en cuenta que, durante la toma de muestras, la pérdida de carga va incrementándose. Actualmente existen en el mercado bombas que sí permiten mantener el control tanto del caudal como de la pérdida de carga durante el proceso de toma de muestras, lo que serviría al técnico de prevención para verificar si la pérdida de carga se está aproximando al límite tolerado por la bomba y adoptar las medidas pertinentes, como reducir el tiempo de muestreo o realizar muestreos consecutivos.

Por último, dentro de los cuatro aspectos que influyen en el cálculo de la incertidumbre del volumen de aire muestreado, se encuentran la estabilidad del caudal durante la toma de muestras y la variabilidad de las lecturas en la verificación del caudal de la bomba. Por tanto, la incertidumbre del muestreo también se va a ver afectada por la pérdida de carga que aporte el conjunto muestreador y elemento de retención.

2. MUESTREADORES Y ELEMENTOS DE RETENCIÓN

En el proyecto llevado a cabo por el INSST, se han realizado ensayos tanto para el muestreo de materia particulada como para el de gases y vapores, eligiendo aquellos muestreadores y elementos de retención que se han considerado más representativos, indicados en los Métodos de toma de muestras y análisis (MTA) elaborados por el INSST y que son de uso habitual en las mediciones de agentes químicos.

Materia particulada

Para la toma de muestras de materia particulada, en primer lugar se debe considerar la fracción de interés (inhalable, torácica o respirable), definida según la Norma UNE-EN 481, para la que está establecido el límite de exposición profesional, ya que va a influir decisivamente en el muestreador a utilizar.

La pérdida de carga generada por el conjunto muestreador – elemento de retención va a depender de la geometría del muestreador, del caudal del mismo y del elemento de retención. Los muestreadores de fracciones generalmente pueden ser utilizados con elementos de retención de diferentes tipos o características, por lo que es importante conocer sus aplicaciones y limitaciones. Los elementos de retención son principalmente filtros que pueden ser de fibra o de membrana porosa, aunque también se utilizan algunos tipos de espumas.

En el caso de los filtros, el material del filtro, el tamaño de poro, el grosor y el área efectiva de la superficie del filtro son un contribuyente importante para la pérdida de carga y pueden influir en el rendimiento de la bomba de muestreo. Además, los soportes de filtros o las mallas de soporte de filtro también pueden contribuir a la resistencia al flujo.

El método de determinación analítica de la muestra establece el elemento de retención a utilizar.

En la tabla 1 se identifican los muestreadores para partículas que se han utilizado, los filtros que se pueden utilizar con dichos muestreadores según el agente químico a muestrear y algunos ejemplos de uso.

Tabla 1. Lista no exhaustiva de muestreadores/elementos de retención de materia particulada.

MUESTREADOR	CAUDAL (l/min)	TAMAÑO FILTRO	TIPO DE FILTRO ¹	FRACCIÓN DE INTERÉS
IOM (Plástico o acero inoxidable)	2	25 mm	PVC FV MCE PTFE NC Policarbonato Gelatina	Fracción inhalable
PGP-GSP 3,5	3,5	37 mm		
BUTTON ²	4	25 mm		Fracción torácica
GK2.69	1,6	37 mm		
CICLÓN PLÁSTICO	2,2 o 3	37 mm		Fracción respirable
PPI	4	37 mm		
GK2.69	4,2	37 mm		
SIOUTAS	9	25/37 mm (5 filtros, 4 de 25 mm y 1 de 37 mm)	25 PTFE (teflón 3 µm) 25 PTFE (0,5 µm) 37 PTFE (teflón 2 µm)	Recoge cinco fracciones de materia particulada (> 2,5 µm, 1-2,5 µm, 0,5-1 µm, 0,25-0,5 µm, <0,25 µm)
MUESTREADOR DE FIBRAS EN AIRE	0,5-16	25 mm	MCE, NC (0,8 - 1,2 µm)	Fibras de amianto en aire

1 PVC: cloruro de polivinilo, FV: fibra de vidrio, MCE: membrana ésteres de celulosa, PTFE: politetrafluoroetileno, NC: nitrato de celulosa

2 Para todos los filtros utilizados con el muestreador Button se recomienda un tamaño de poro $\geq 1 \mu\text{m}$

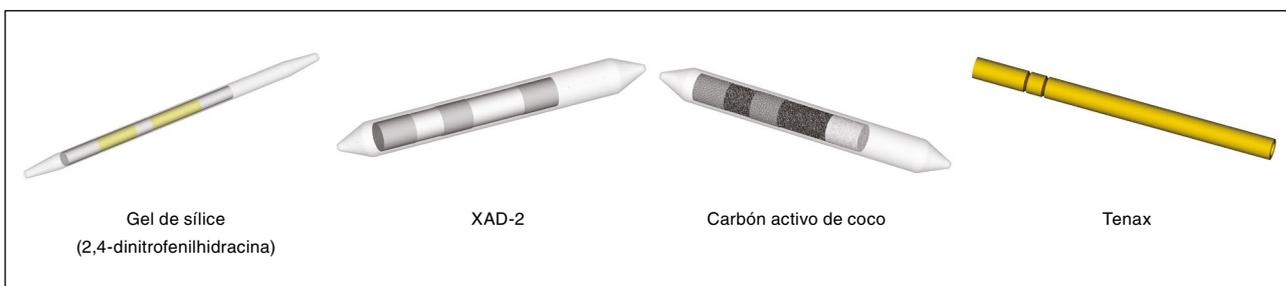


Figura 1. Ejemplos de muestreadores de gases y vapores.

Gases y vapores

En el caso de los muestreadores de gases y vapores, los factores que pueden influir en la pérdida de carga son el caudal de muestreo, el tamaño de grano, el tipo y cantidad del

adsorbente, la impregnación de reactivos, los separadores de las partes A y B y la geometría y material del muestreador.

En la tabla 2 se identifican los tubos que se han utilizado y algunos de los compuestos más comunes a analizar para los distintos elementos de retención.

Tabla 2. Lista no exhaustiva de muestreadores de vapores orgánicos.

ELEMENTO DE RETENCIÓN (ADSORBENTE)	TIPOS DE COMPUESTOS MÁS COMUNES A ANALIZAR ¹
Anasorb CSC Carbón activo de coco	Cetonas, alcoholes, hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos halogenados, ésteres
Anasorb 708 Chromosorb 108 Amberlite XAD 8	Ácidos acrílicos
Anasorb 747 Carboxen 564	Éteres de glicol, fluoranos, hidrocarburos aromáticos
Gel de sílice activada Gel de sílice activada con fibra de vidrio Gel de sílice (2,4-dinitrofenilhidracina) Gel de sílice (ácido sulfúrico)	Ácidos inorgánicos, aminas alifáticas y aromáticas, cetonas, compuestos orgánicos e inorgánicos halogenados, formaldehído
Alúmina	Aminas
XAD-2 Supelpak 20 Amberlite XAD-2	Hidrocarburos aromáticos polinucleares, policlorobencenos, compuestos aromáticos policíclicos, metacrilatos, aldehídos
XAD-7 Supelpak 70 Amberlite XAD-7	Glicoles, alcoholes, anilinas, acrilatos
Porapak Q	Ácidos orgánicos, hexanonas
Tenax	Ftalatos, acrilatos, compuestos organohalogenados, hidrocarburos aromáticos

1 No todos los compuestos de los grupos mencionados se pueden adsorber con el elemento de retención indicado.

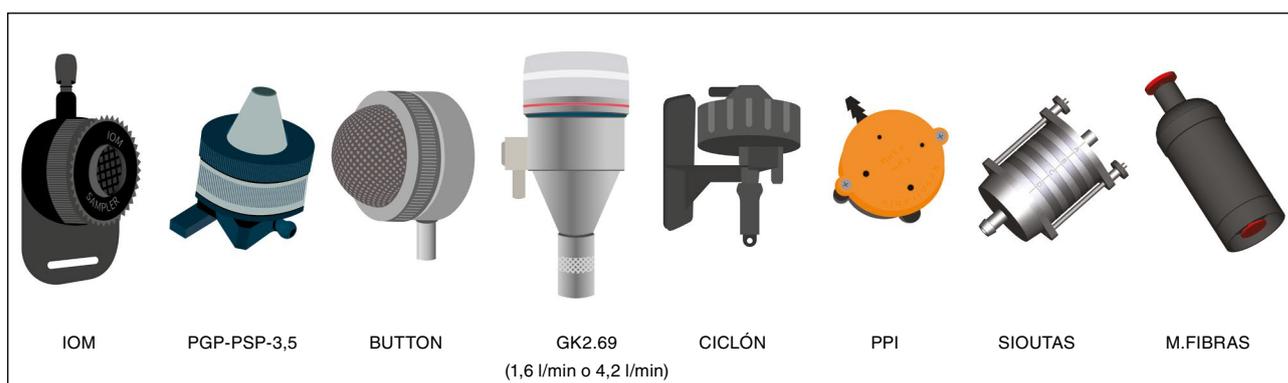


Figura 2. Ejemplos de muestreadores de materia particulada.

3. DESARROLLO DEL PROCESO

Las pruebas para determinar la pérdida de carga se han realizado en una sala con una atmósfera limpia, climatizada a 20°C. Para controlar las condiciones ambientales y el tiempo de estabilización, se ha utilizado un termohigrómetro calibrado y un cronómetro.

Para obtener todos los caudales requeridos por los muestreadores ensayados se han utilizado cuatro bombas para las pruebas, tres tipo P (para partículas) y una tipo G (para gases y vapores), que cumplen con los requisitos establecidos en la norma UNE-EN-ISO 13137, entre los que se encuentra la realización de la prueba establecida en el punto 7.10 para verificar la estabilidad del caudal con el aumento de la pérdida de carga.

Para la medición de la pérdida de carga se ha recurrido a un medidor de presión diferencial de exactitud 0,25%, función de ajuste de autocero y rango de medición ± 1.999 mbar.

En el caso de muestreadores que, por su morfología, no pueden ser conectados directamente al medidor de caudal sin adaptadores adicionales, se ha realizado la prueba con una cámara de calibración.

Se han empleado dos medidores de caudal primarios, uno de ellos de tipo burbuja y el otro de pistón,

verificados según los requisitos de la norma UNE-EN-ISO 13137.

Para que los datos obtenidos no se vean influenciados por ningún otro factor externo y sean lo más representativos posible, únicamente se ha variado el fabricante y el lote del filtro/tubo. El resto de elementos empleados en cada prueba han sido siempre los mismos. Las conexiones entre los distintos elementos se han realizado con tubos de Tygon de longitud y diámetro interno lo más reducido posible en cada caso.

El procedimiento empleado ha sido el siguiente:

- Para el caso de materia particulada, se montan seis muestreadores con el mismo tipo de elemento de retención. Para gases y vapores se abren seis tubos iguales.
- Se colocan los elementos a utilizar siguiendo el orden establecido en la figura 3, y que se muestran en las figuras 4 y 5.
- Se calibra la bomba con el muestreador y caudal a ensayar.
- Una vez calibrada la bomba, se deja funcionando un periodo de estabilización de cinco minutos y se comprueba la pérdida de carga que aporta el muestreador.
- Se repite el paso anterior con los cinco muestreadores restantes.

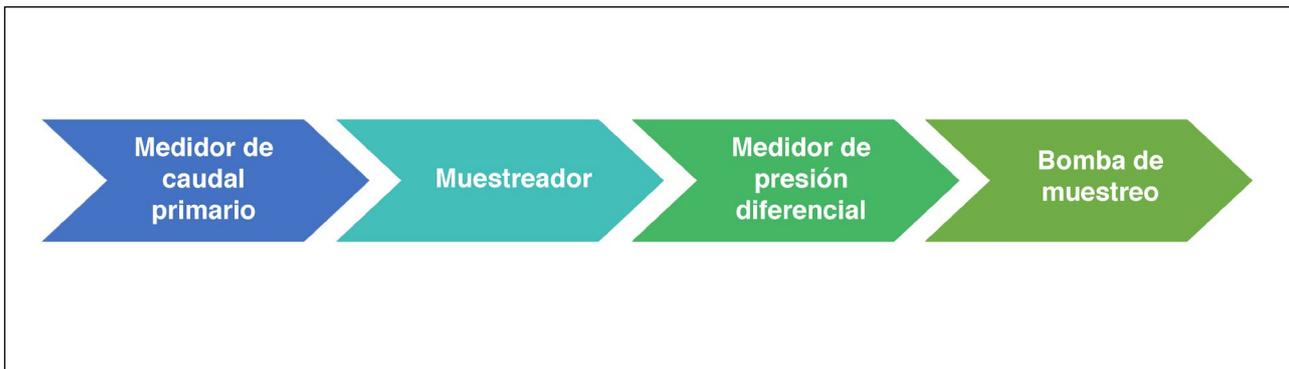


Figura 3. Montaje necesario para realizar la prueba de la pérdida de carga aportada por los muestreadores.



Figuras 4 y 5. Montaje realizado para ensayar la pérdida de carga aportada por los muestreadores de gases y vapores y de materia particulada.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Se presentan a continuación los resultados obtenidos tanto para muestreadores de materia particulada (tabla 3)

como para muestreadores de vapores y gases (tabla 4). La pérdida de carga se muestra como un rango en kPa correspondiente al valor mínimo y máximo obtenido para cada muestreador y elemento de retención analizado.

Tabla 3. Rangos de pérdidas de carga en kPa asociadas a diversos caudales, muestreadores de materia particulada, materiales y tamaño de poro de los filtros.

MUESTREADOR	TAMAÑO FILTRO (mm)	TAMAÑO DEL PORO (μm)	MATERIAL FILTRO	CAUDAL (l/min)	PÉRDIDA DE CARGA (kPa)
IOM plástico o acero inoxidable	25	0,8	MCE	2	2,9 - 4,4
		1	FV		1,3 - 1,6
		5	PVC		0,9 - 1,1
Button	25	0,8	MCE	4	6,2 - 8,0
		1	FV		1,5 - 2,4
		5	PVC		1,4 - 4,1
PGP-GSP 3,5	37	1	FV	3,5	1,2 - 1,3
		2	PTFE		0,8 - 0,9
		5	PVC		1,8 - 1,9
GK 2,69	37	-	FV	1,6	0,3 - 0,9
		0,8	NC		0,6 - 0,9
		2	PTFE		0,3 - 0,5
		5	PVC		0,2 - 0,8
Ciclón SKC	37	5	PVC	3	0,9 - 1,0
GK 2,69	37	-	FV	4,2	1,0 - 2,5
PPI	37	0,8	NC	4	2,0 - 2,7
		2	PTFE		1,0 - 3,2
		5	PVC		1,5 - 2,0
Muestreador de fibras en aire	25	0,8	MCE	0,5	0,6 - 0,7
				1	1,3 - 1,5
				2	2,7 - 3,0
				4	6,0 - 6,5
				6	8,5 - 9,6
				8	12,2 - 13,2
				10	15,7 - 16,8
				12	19,0 - 20,3
		1,2	NC	0,5	0,7 - 0,9
				1	1,3 - 1,7
				2	2,4 - 3,1
				4	4,1 - 4,9
				6	6,6 - 7,6
				7	6,6 - 7,6
Sioutas	37/25	2/0,5	PTFE	9	8,0 - 10,6

Tabla 4. Rangos de pérdidas de carga en kPa asociadas a diversos caudales, muestreadores de gases y vapores y material de relleno (adsorbente)

ADSORBENTE	mg DE ADSORBENTE (parte A/parte B)	CAUDAL (ml/min)	PÉRDIDA DE CARGA (kPa)
Anasorb CSC Carbón activo de coco	100/50	50	0,1 - 0,3
		200	0,5 - 0,8
Anasorb 708 Chromosorb 108 Amberlite XAD 8	100/-	50	0,1
		200	0,5 - 0,6
	400/200	50	0,2
		200	0,7 - 0,8
Anasorb 747 Carboxen 564	140/70	50	0,1 - 0,2
		200	0,4 - 0,5
Gel de sílice	100/50	50	0,1
		200	0,4 - 0,5
	150/75	50	0,2 - 0,3
		200	0,8 - 1,1
	300/150	50	0,2 - 0,3
		200	0,7 - 0,9
Gel de sílice (especialmente limpia)	400/200	50	0,4 - 0,8
		200	1,8 - 2,5
Gel de sílice (2,4-dinitrofenilhidracina)	300/150	50	0,3 - 0,5
		200	1,2 - 2,0
Gel de sílice (ácido sulfúrico)	200/100	50	0,1 - 0,2
		200	0,4 - 0,7
Alúmina	400/200	50	0,1
		200	0,2 - 0,3
XAD-2 Supelpak 20 Amberlite XAD-2	100/50	50	0,1
		200	0,3
	400/200	50	0,1
		200	0,4 - 0,6
XAD-2 Supelpak 20 Amberlite XAD-2 (2-hidroximetil piperidina)	120/60	50	0,2 - 0,3
		200	1,2 - 1,3
XAD-7 Supelpak 70 Amberlite XAD-7	100/50	50	0,2
		200	0,8 - 0,9
XAD-7 Supelpak 70 Amberlite XAD-7 (ácido fosfórico)	80/40	50	0,1
		200	0,4 - 0,6
Porapak Q	150/75	50	0,2 - 0,3
		200	1,1 - 1,2
Tenax TA ¹	80/60 mallas	50	1,1 - 1,2
		200	4,2 - 4,8

¹ Tubos de acero inoxidable, de 89 mm de longitud, 6,4 mm de diámetro externo y 5 mm de diámetro interno.

5. CONCLUSIONES

Para realizar una adecuada toma de muestra que evite errores durante su desarrollo, es necesario tener en cuenta la pérdida de carga aportada por el conjunto del muestreador y el elemento de retención que se vaya a utilizar. En caso de no tener en cuenta este aspecto, la bomba puede ser incapaz de alcanzar el caudal necesario y/o mantenerlo durante el tiempo que dure el muestreo, lo que puede hacer que la medición no sea fiable y representativa o llegar a invalidarla. Para ello se puede medir previamente la pérdida de carga por el técnico que está planteando la estrategia de muestreo o recurrir a los datos proporcionados por esta NTP o a otras fuentes fiables, como el anexo D de la norma UNE-EN-ISO 13137. El dato de pérdida de carga en las condiciones en las que se está estudiando realizar el muestreo se debe comparar con los datos de pérdida de carga máxima que soporta la bomba que se pretende utilizar al caudal de muestreo que se quiera emplear, y que se indican en el manual de instrucciones de la bomba. También se pueden utilizar, para su comparación con la pérdida de carga teórica que aporta el muestreador y elemento de retención, los datos proporcionados por la realización de la prueba de mantenimiento del caudal con la variación de la pérdida de carga si se dispone de ellos. En cualquier caso, siempre se tiene que tener en cuenta que los datos empleados son aproximaciones teóricas para plantear una situación en la estrategia de muestreo lo más ajustada posible a la realidad, que puede variar por otros condicionantes cuando se realice el muestreo.

La pérdida de carga máxima que soporte la bomba debe ser siempre mayor que la teórica del muestreo. Además, será necesario disponer de un margen que permita a la bomba mantener ese caudal inicial durante el muestreo, ya que, a me-

didada que el agente químico se va depositando o adsorbiendo sobre el elemento de retención, este se va saturando. La consecuencia es que la pérdida de carga inicial va a aumentar durante el muestreo y, por tanto, la exigencia a la bomba con la que se está realizando el muestreo se incrementará. Si se alcanza un punto en el que la pérdida de carga sea tan alta que la bomba no pueda mantener el caudal dentro del 5% de variación respecto al inicial, la bomba se parará, con las consecuencias que puede conllevar para el muestreo.

Las características de las bombas en el momento en que se adquieren van a variar en función del uso y las exigencias que se le hayan requerido. Si se han utilizado habitualmente en condiciones muy exigentes de pérdida de carga, cerca de los límites a los que puede llegar la bomba, su vida útil se verá reducida. Esto se puede controlar mediante la realización de pruebas periódicas en las que se determine qué pérdida de carga máxima soporta la bomba en las condiciones de uso habituales (caudal, tiempo...), determinadas en la norma UNE-EN-ISO 13137. En función de los resultados de dichas pruebas, se pueden adoptar medidas destinadas a alargar la vida útil de las bombas, como limitar su uso a determinados caudales, pérdidas de carga y/o tiempos de muestreo, mantenimiento de las baterías, etc.

Por último, hay que tener en cuenta que los datos de pérdida de carga pueden diferir respecto a los proporcionados en esta NTP, ya que esta varía ligeramente en función de diversos factores, como el fabricante del muestreador, el lote utilizado, la mayor o menor apertura de los tubos, por lo que los datos proporcionados en esta NTP se pueden utilizar para esa aproximación teórica anteriormente mencionada, sin perjuicio de la consulta a la información aportada por el fabricante o suministrador de los equipos o materiales utilizados.

BIBLIOGRAFÍA

Listado de métodos de toma de muestras y análisis (MTA) del INSST.

UNE-EN 481:1995 Atmósferas en los puestos de trabajo. Definición de las fracciones por el tamaño de las partículas para la medición de aerosoles

UNE-EN ISO 13137:2013. Atmósferas en el lugar de trabajo. Bombas para muestreo personal de agentes químicos y biológicos. Requisitos y métodos de ensayo.

CR-01/2006: Criterios y recomendaciones. Bombas para el muestreo personal de agentes químicos.

CR-03/2006: Criterios y recomendaciones. Toma de muestra de aerosoles. Muestreadores de la fracción inhalable de materia particulada.

NTP 764. Evaluación de la exposición laboral a aerosoles (II): muestreadores personales de la fracción del aerosol.

NTP 765. Evaluación de la exposición laboral a aerosoles (III): muestreadores de la fracción torácica, respirable y multifracción.

NTP 777. Bombas de muestreo personal para agentes químicos (I): recomendaciones para su selección y uso.

NTP 778. Bombas de muestreo personal para agentes químicos (I): verificación de las características técnicas.

NTP 799. Evaluación de la exposición laboral a aerosoles (IV): selección del elemento de retención.

NTP 800. Evaluación de la exposición laboral a aerosoles (V): recomendaciones para la toma de muestras de aerosoles.

NTP 814. Evaluación de la exposición laboral a aerosoles: el muestreador IOM para la fracción inhalable.