

Bombas para el muestreo personal de agentes químicos

CR-01/2006

Índice

0. INTRODUCCIÓN

1. TIPOS DE BOMBAS

2. REQUISITOS DE LAS BOMBAS DE MUESTREO PERSONAL DE CAUDAL CONSTANTE

1. Requisitos de diseño
2. Requisitos funcionales
3. Otros requisitos

3. RECOMENDACIONES PARA LA SELECCIÓN Y USO DE LAS BOMBAS DE MUESTREO PERSONAL

1. Adquisición
2. Utilización
3. Calibración del caudal de la bomba
4. Verificación de las características de las bombas
5. Programa de mantenimiento y verificación de las bombas

4. RECOMENDACIONES PARA LA SELECCIÓN Y USO DE LOS MEDIDORES DE VOLUMEN O CAUDAL

1. Medidores primarios
2. Medidores secundarios
3. Mantenimiento y calibración de los medidores de caudal

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

APÉNDICE A: MONTAJE PARA LOS ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DESCRITOS EN 3.4

APÉNDICE B: EJEMPLO DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE VERIFICACIÓN

- B.1 Ensayo de estabilidad del caudal con el aumento de la pérdida de carga
- B.2 Estabilidad del caudal con el tiempo
- B.3 Dependencia de la temperatura

0. 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 que comprenden:

- La captación de la muestra 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 transporte de la muestra hasta el laboratorio y almacenamiento de la misma en condiciones adecuadas hasta el momento del análisis.
- El análisis de las muestras.

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.

1. TIPOS DE BOMBAS

Las bombas utilizadas habitualmente para la obtención de muestras en higiene industrial son bombas de las llamadas de diafragma o 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 ≤ 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 con 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 "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:

- 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.

2. 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 ≤ 5 l/min y $>$ de 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. A continuación se indican los requisitos de la norma para las bombas de muestreo personal que funcionan a caudal constante. Se han agrupado en requisitos de diseño, requisitos funcionales y otros requisitos. En la [Tabla 1](#) se recogen los requisitos más importantes.

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

Parámetro	Requisito
Masa	≤ 1,2 kg
Resistencia mecánica	Desviación del caudal ≤ 5 %
Seguridad del diseño	Ni ángulos vivos ni partes salientes molestas
Estabilidad del caudal con el aumento de pérdida de carga	Desviación del caudal ≤ 5 % del caudal inicial 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 ≤ 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 ≤ 5 % del valor a 20 °C en el intervalo de 5 °C a 40 °C (*)
Orientación	Desviación del caudal ≤ 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

(*) Requisitos a verificar total o parcialmente por el usuario

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 se describen en 3.4 y pueden ser de utilidad para que el usuario de las bombas verifique periódicamente su funcionamiento.

1. Requisitos de diseño

Las bombas deben disponer de los siguientes elementos:

- Un dispositivo para el ajuste del caudal que no se pueda manipular más que por medio de una herramienta (manual o electrónica) a fin de evitar que el ajuste del caudal se modifique inadvertidamente durante la utilización de la bomba.
- Un control automático que mantenga el caudal volumétrico constante en el caso de cambios de la pérdida de carga.
- Un indicador de funcionamiento defectuoso que indique, al final del muestreo, si el flujo del aire se ha reducido o interrumpido durante el muestreo o, alternativamente, un sistema de desconexión automática que pare la bomba en estas situaciones.
- Un sistema de sujeción para fijar la bomba a la persona.
- Un fusible o un conmutador de limitación de corriente que interrumpa o limite la corriente en el circuito eléctrico de la bomba en caso de cortocircuito.
- También es aconsejable que las bombas dispongan de un cronómetro integrado con reposición automática a cero cuando se acciona el interruptor de marcha/parada de la bomba. La desviación del cronómetro debería ser menor de 1 %.

Puesto que se trata de bombas para muestreo personal es aconsejable que sean de peso bajo. La norma UNE EN 1232 indica que la masa de la bomba, incluyendo las baterías y el sistema de sujeción completo, no excederá 1,2 kg. Además, la cubierta exterior de la bomba debería estar construida de manera que no haya ángulos vivos ni otras partes salientes que produzcan molestias al usuario.

2. Requisitos funcionales

Los requisitos funcionales están orientados a asegurar que el caudal se mantenga constante y a conocer con exactitud el volumen de aire muestreado. Según la UNE EN 1232 los requisitos mínimos que deben cumplir las bombas de muestreo personal de caudal constante son:

- **Estabilidad del caudal con el aumento de la pérdida de carga**

El caudal no se desviará más de ± 5 % del valor ajustado inicialmente para las pérdidas de carga que se pueden presentar durante la toma de muestra. En la [Tabla 2](#) se recogen, para cada caudal, los intervalos de pérdida de carga

(ΔP) en los que el caudal debe mantenerse constante, según se trate de una bomba Tipo P o G.

Los valores superiores e inferiores del intervalo de pérdida de carga que se requiere para las bombas del tipo P son característicos de un filtro no cargado y de un filtro muy cargado. Los valores para las bombas del tipo G son característicos de un solo tubo adsorbente de baja resistencia al flujo y hasta dos tubos adsorbentes en línea.

Tabla 2
Intervalos de pérdida de carga (ΔP) para cada caudal:

a. Bombas Tipo P.

Tipo P	
Caudal (l/min)	ΔP (kPa)
1	0,1 a 4,0
2	0,3 a 4,0
3	0,4 a 4,0
4	0,6 a 5,0
5	0,7 a 6,25

o Bombas Tipo G.

Tipo G	
Caudal (ml/min)	ΔP (kPa)
5	0,01 a 0,1
10	0,02 a 0,2
50	0,1 a 1,2
100	0,2 a 2,6
300	1,0 a 10

● Autonomía de funcionamiento

Las bombas tendrán una autonomía de funcionamiento de al menos 2 h y preferiblemente 8 h. Durante el periodo de funcionamiento, el caudal no se desviará más del 5 % del valor medido al inicio del ensayo. Este requisito se aplica a todo el intervalo de caudales para una determinada pérdida de carga y a dos temperaturas, ambiente (20 °C a 25 °C) y 5 °C.

● Interrupción del flujo del aire

Cuando el flujo del aire se interrumpa completamente durante 2 min, la bomba se parará o se activará el indicador de funcionamiento defectuoso. Al término del periodo de interrupción, la bomba no arrancará de manera automática o, alternativamente, el indicador de funcionamiento defectuoso permanecerá activado hasta la reposición a su estado inicial.

● Dependencia de la temperatura

En el intervalo de temperatura para el que el fabricante indique en las instrucciones que la bomba puede funcionar, el caudal medido en las condiciones de funcionamiento no se desviará más de 5 % del caudal a 20 °C. El intervalo de temperatura indicado en la norma UNE EN 1232 es de 5 °C a 40 °C.

● Resistencia a choques y cambios de orientación

Las bombas estarán construidas de tal forma que los golpes o choques que puedan sufrir durante su uso no den lugar a que el caudal se desvíe más del 5 % del valor inicial ni afecte al funcionamiento general de la bomba. Tampoco les deben afectar los cambios de orientación hacia la derecha o hacia la izquierda respecto de su posición vertical normal.

● Otros requisitos

El fabricante debería entregar junto con la bomba:

- El certificado de conformidad de las normas de compatibilidad electromagnética, UNE EN 50081-1 y UNE EN 50082-1.
- El certificado de conformidad de la norma para equipos que trabajen en los lugares donde existe un riesgo de explosión, UNE EN 50014 (en el caso de que el fabricante indique que puede ser utilizada en estos lugares).
- Las instrucciones de utilización o Manual de uso en español. Las instrucciones deben contener toda la información relevante para el funcionamiento de la bomba y especialmente información sobre el intervalo de caudal en el que la bomba puede operar, el tiempo de autonomía de funcionamiento y el intervalo de temperaturas en el que el caudal no se desvía.

3. RECOMENDACIONES PARA LA SELECCIÓN Y USO DE LAS BOMBAS DE MUESTREO PERSONAL

Las bombas de muestreo personal deben cumplir la norma UNE EN 1232 teniendo en cuenta el uso al que se van a destinar. 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.

1. Adquisición

Las bombas de muestreo personal deben adquirirse entre las que cumplan los requisitos indicados en la norma UNE EN 1232. Los requisitos indicados en el [capítulo 2](#), que resumen los de la norma, 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. A pesar de ello, en general, es posible asociar sin mucha dificultad las características y requisitos que le correspondan entre los indicados en el [capítulo 2](#).

En la [Tabla 3](#) 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 intervalo 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 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.

Tabla 3
Ejemplo de información suministrada por el fabricante para bombas que corresponderían a Tipo G y Tipo P

	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 ₂ O)	± 5% a 25" de agua	750 ml/min a 40" de agua 2 l/min a 30" de agua 2,5 l/min a 20" de agua 3 l/min a 15" de agua
Autonomía de funcionamiento	8 h a 25" de agua	10 h (30" de agua - 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 temperatura	- 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

2. Utilización

A la hora de utilizar 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.

1. 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 fundamentado en los ensayos que se indican en 3.4.

2. Influencia de la temperatura en la estabilidad del caudal de la bomba

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. En 3.3 se da más información sobre este punto.
- 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 de los ensayos indicados en la [Tabla 2](#) y en 3.4 permite conocer y minimizar la influencia de la temperatura y garantizar y verificar el buen funcionamiento de la bomba.

3. 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.

4. 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 o 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 o 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.

3. Calibración del caudal de la bomba

La calibración de la bomba comprende dos pasos:

1. Ajuste del caudal que se requiera utilizando el dispositivo del que la bomba debe venir provista para tal fin y
2. Medición del caudal utilizando un medidor de volumen o de caudal calibrado, preferentemente primario. En 4 se proporciona información sobre estos medidores y su calibración.

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 en 3.2, es recomendable seguir el procedimiento de calibración que se detalla en 3.3.1.

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. En la Tabla B.5 y en la Figura B.5 del Apéndice B se pueden observar los resultados de los ensayos de dependencia de la temperatura para una bomba Tipo P y otra Tipo G. El caudal para la bomba Tipo P no varía con la temperatura mientras que para la bomba Tipo G las variaciones en el caudal medido a temperaturas diferentes son superiores a $\pm 5\%$ para una diferencia de temperatura de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1. Procedimiento de calibración del caudal de las bombas

El procedimiento recomendado para la calibración del caudal es el siguiente:

a. 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 (véase 4).
- 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 el caudal en la bomba hasta alcanzar el valor 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.

b. 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.

c. 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.

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

4. Verificación de las características de las bombas

En el [apartado 3.2](#) 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.

Los ensayos que se describen a continuación, basados en los descritos en la norma UNE EN 1232, pueden ser de utilidad para este fin ya que proporcionan una amplia información sobre el estado de las bombas. La finalidad de los ensayos descritos es verificar las condiciones óptimas de funcionamiento de las bombas. La verificación puede ser:

- o Interna, cuando el propio usuario realiza los ensayos en su laboratorio.
- o Externa, cuando se encarga a un laboratorio externo o 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.

En el [Apéndice A](#) se describe el montaje y la instrumentación necesaria para llevar a cabo los ensayos. El montaje que se requiere es sencillo y se puede realizar en cualquier laboratorio. Para su realización es necesario disponer de resistencias de flujo (o reductores de flujo) que proporcionen pérdidas de carga diferentes, de un medidor de presión diferencial y de otra instrumentación habitual como medidores de caudal y conexiones de vidrio y tubo de silicona. En el [Apéndice B](#) hay un ejemplo detallado con resultados de los ensayos efectuados a una bomba Tipo P y a otra Tipo G.

1. Ensayo de estabilidad del caudal con el aumento de la pérdida de carga

Con el uso, el intervalo de pérdida de carga para el que el caudal se mantiene constante tiende a disminuir. Este ensayo permite establecer el intervalo de pérdida de carga (curva presión - caudal) en el cual las bombas funcionan adecuadamente.

El procedimiento es el siguiente:

- Se ajusta la bomba a uno de los caudales y condiciones indicados en la [Tabla 4](#)

Tabla 4
Condiciones para el ensayo de estabilidad del caudal con el aumento de la pérdida de carga para bombas Tipo P y Tipo G

Bomba	Reductor de flujo	ΔP generada (kPa)	Caudal
Tipo P	RA	$0,5 \pm 10\%$ (2 l/min)	Caudal nominal máximo y mínimo
Tipo G	RC	$0,5 \pm 10\%$ (50 ml/min) $5,0 \pm 10\%$ (300 ml/min)	Caudal nominal máximo y mínimo

Valores de RA y RC en el [Apéndice A](#)

2. Se reemplaza el reductor por uno ajustable al flujo como, por ejemplo, una válvula de aguja totalmente abierta.
3. Sin cambiar el ajuste de la bomba, se va aumentando gradualmente la resistencia al flujo, pasando del valor más bajo al valor más alto de la [Tabla 4](#), hasta que la bomba se pare de manera automática o el caudal se desvíe más de $\pm 5\%$ del caudal ajustado al inicio. Para obtener la curva presión-caudal, se efectúan, para cada valor de la resistencia al flujo, al menos tres mediciones del caudal y de la pérdida de carga la curva presión

En las [Tablas B.1](#) y [B.2](#) del [Apéndice B](#) se dan los resultados de este ensayo para una bomba Tipo P y otra Tipo G, respectivamente. En las [Figuras B.1](#) y [B.2](#) se representan estos resultados en un gráfico.

5. Ensayo de estabilidad del caudal con el tiempo

Es recomendable realizar este ensayo con el fin de establecer el periodo durante el cual la bomba puede funcionar a un caudal constante y a una pérdida de carga determinada sin recargar o reemplazar la batería. Conviene realizarlo a dos temperaturas: una entre 20 °C y 25 °C, y a 5 °C. Ahora bien, si habitualmente no se realizan tomas de muestra a bajas temperaturas, puede omitirse el ensayo a 5 °C o realizarlo a otra temperatura dependiendo de las condiciones en las que se espera utilizar la bomba.

El procedimiento a seguir para el ensayo a temperatura ambiente (entre 20 °C y 25 °C) es el siguiente:

- o Antes de comenzar el ensayo se mantiene la bomba a 20 °C y se carga la batería.
- o Al comienzo del ensayo se ajusta la bomba a uno de los caudales y condiciones indicados en la [Tabla 5](#) y se mide el caudal.

Tabla 5
Condiciones para el ensayo de estabilidad del caudal con el tiempo para bombas Tipo P y Tipo G

Bomba	Reductor de flujo	ΔP generada (kPa)	Caudal
Tipo P	RA	$1,6 \pm 10\%$ (2 l/min)	2 l/min y al caudal nominal máximo
Tipo G	RC	$1,0 \pm 10\%$ (50 ml/min) $10,0 \pm 10\%$ (300 ml/min)	(50 ml/min o 300 ml/min) y al caudal nominal máximo

Valores de RB y RD en el [Apéndice A](#).

- Se realizan mediciones cada 5 min durante los primeros 30 minutos que siguen a la puesta en marcha de la bomba. Se realizan medidas adicionales a 45 min y 60 min a partir del comienzo y, después, a intervalos de 30 min hasta que se registra un funcionamiento defectuoso o la bomba se para de manera automática.

Durante este ensayo se puede determinar la exactitud del cronómetro de la bomba, comparándolo durante un periodo de 8 horas, mientras la bomba está funcionando, con un cronómetro que sea trazable al patrón nacional de medición del tiempo.

En las [Tablas B.3](#) y [B.4](#) del [Apéndice B](#) se dan los resultados de este ensayo para una bomba Tipo P y otra Tipo G, respectivamente. En las [Figuras B.3](#) y [B.4](#) se representan estos resultados en un gráfico.

7. Ensayo de interrupción del flujo de aire

Es conveniente comprobar que el indicador de funcionamiento defectuoso funciona adecuadamente.

El procedimiento es el siguiente:

- Se ajusta la bomba a uno de los caudales y condiciones indicados en la [Tabla 6](#).

Tabla 6
Condiciones para el ensayo de interrupción del flujo de aire para bombas Tipo P y Tipo G

Bomba	Reductor de flujo	ΔP generada (kPa)	Caudal
Tipo P	RA	$0,5 \pm 10\%$ (2 l/min)	2 l/min
Tipo G	RC	$0,5 \pm 10\%$ (50 ml/min) $5,0 \pm 10\%$ (300 ml/min)	50 ml/min o 300 ml/min

Valores de RA y RC en el [Apéndice A](#).

- Se bloquea totalmente el flujo, instalando una abrazadera para manguera a la entrada de la bomba.
- Se mide, con la ayuda de un cronómetro, el tiempo que tarda la bomba en reaccionar al bloqueo.
- Se retira la abrazadera y se comprueba la conformidad con los requisitos.

11. Ensayo de dependencia con la temperatura

Este ensayo permite establecer el intervalo de temperatura para el cual el caudal no se desvía más de un 5 % del caudal a 20 °C. Conviene que el usuario lleve a cabo el ensayo en el intervalo de temperaturas en el cual habitualmente realice las tomas de muestra.

Para llevar a cabo este ensayo, sería necesario disponer de una cámara climática en la que se introduce el montaje completo descrito en el [Apéndice A](#). Si no se dispone de una cámara climática, se pueden utilizar diferentes opciones (frigorífico, estufa, etc.), para llevar a cabo los ensayos.

El procedimiento para todo el intervalo de temperaturas es el siguiente:

- Antes de comenzar el ensayo se mantiene la bomba a 20 °C y se carga la batería.
- Se pone en marcha la bomba y se ajusta a uno de los caudales indicados en la [Tabla 7](#).

Tabla 7
Condiciones para el ensayo de dependencia con la temperatura para bombas Tipo P y Tipo G

Bomba	Reductor de flujo	Caudal
Tipo P	RA	2 l/min
Tipo G	RC	50 ml/min o 300 ml/min

12. Se somete el montaje completo para el ensayo a una temperatura de 5 °C durante 2 horas, mientras la bomba está en funcionamiento. Al final del periodo se mide el caudal.
13. A continuación, se somete el montaje para el ensayo a las temperaturas de 10 °C, 20 °C, 30 °C y 40 °C durante periodos de 1 h para cada temperatura. Al final de cada periodo se mide el caudal. No es necesario que la bomba esté en funcionamiento durante los periodos completos de una hora a cada temperatura. Es suficiente con que se ponga en marcha 15 min antes de la medición del caudal y se pare de nuevo después de haber terminado la medición.

En la [Tabla B.5](#) del [Apéndice B](#) se dan los resultados de este ensayo para una bomba Tipo P y otra Tipo G. En la [Figura B.5](#) se representan los resultados en un gráfico.

• 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.

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 o 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, 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 ensayo de la autonomía de funcionamiento, exactitud del cronómetro, intervalo de pérdida de carga en el que funciona correctamente, etc).
- Información de la última vez que fue utilizada por ejemplo, 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, de caudal, de área variable, etc).
- La fecha de cambio de la batería.
- Cualquier otra indicación que pueda ser de utilidad.

4. RECOMENDACIONES PARA LA 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.

1. 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.

2. 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.

3. 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 realizarla el propio laboratorio o 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 cómo 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 o 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 DE CONSULTA

● Legislación

- [Real Decreto 374/2001](#) de 6.4 (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.

● Normas UNE

- UNE EN 482:1994 Atmósferas en el lugar de trabajo. Requisitos generales relativos al funcionamiento de los procedimientos para la medición de agentes químicos.
- UNE EN 1232:1997 Atmósferas en el lugar de trabajo. Bombas para el muestreo personal de los agentes químicos. Requisitos y métodos de ensayo.
- UNE EN 12919:1999 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.

● Publicaciones del INSHT

- INSHT. [Límites de exposición profesional para agentes químicos en España](#). INSHT 2005.

• Otras publicaciones

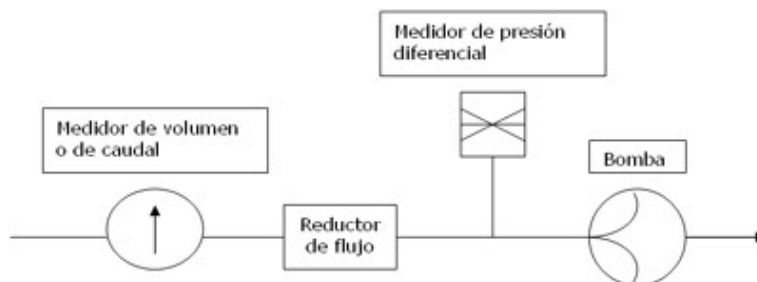
- o Arriandiaga M.V, Salcedo R.M. La comprobación de la estabilidad del caudal en las bombas de muestreo personal. Póster presentado en el XIV Congreso Mundial sobre Seguridad y Salud en el Trabajo. Madrid, 1996.
- o Arriandiaga M.V, Salcedo R.M. El caudal en las bombas de muestreo personal. Ibermutua, nº 12, 17-23, 1997.
- o DFG. Sampling and determining aerosols and their chemical components. The MAK-Collection Part III: Air Monitoring methods, Vol.9, 2005.
- o Fréville L., Martin P. Réalisation d'un banc d'essais automatisés pour les pompes individuelles de prélèvement. Cahiers de notes documentaires. ND 2107-175-99. INRS, 1999.
- o Gravel R. Evaluation de pompes personnelles d'échantillonnage. Guide technique. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST). Québec, 1993.
- o IRSST. Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail. Guide technique. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec. (IRSST). Québec, 2005.

APÉNDICE A MONTAJE PARA LOS ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DESCRITOS EN 3.4

Los ensayos descritos en 3.4 se realizan utilizando un montaje como el de la Figura A. La bomba objeto de ensayo se conecta en serie a una resistencia de flujo y a un medidor de volumen o caudal. Entre la bomba y la resistencia se conecta un medidor de presión diferencial. Todas las conexiones deberán ser estancas y la longitud total de los tubos utilizados tan corta como sea posible, con una longitud máxima de alrededor de 80 cm y un diámetro interno de alrededor de 6 mm.

Los ensayos deberían llevarse a cabo con las baterías completamente cargadas y a una temperatura de 20 °C a 25 °C, salvo mención contraria en la descripción de las condiciones de ensayo. La temperatura se medirá y se anotará con los resultados del ensayo.

Figura A
Montaje de los ensayos de verificación



Listado de la instrumentación a utilizar en los ensayos:

- Medidores de volumen, (por ejemplo, medidor de burbuja de jabón) o de caudal (por ejemplo, medidor de caudal de área variable)
- Resistencias o reductores de flujo que proporcionen las pérdidas de carga siguientes:
 - o Reductor de flujo RA, que genere una pérdida de carga de 0,5 kPa \pm 10 % a un caudal de 2 l/min,
 - o Reductor de flujo RB, que genere una pérdida de carga de 1,6 kPa \pm 10 % a un caudal de 2 l/min,
 - o Reductor de flujo RC, que genere una pérdida de carga de 0,5 kPa \pm 10 % a un caudal de 50 ml/min y una pérdida de carga de 5 kPa \pm 10 % a un caudal de 300 ml/min
 - o Reductor de flujo RD, que genere una pérdida de carga de 1,0 kPa \pm 10 % a un caudal de 50 ml/min y una pérdida de carga de 10 kPa \pm 10 % a un caudal de 300 ml/min.
- Si no se dispone de estos reductores, se pueden utilizar en su lugar válvulas de aguja.
- Medidor de presión diferencial, con un campo de medida que incluya el intervalo de presiones de interés.
- Termómetro de vidrio o electrónico.
- Medidor de tiempo (por ejemplo, cronómetro).
- Medidor de presión de aire (por ejemplo, barómetro).
- Tubos y accesorios de conexión.

APÉNDICE B EJEMPLO DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE VERIFICACIÓN

Los resultados de los ensayos que se dan en este apéndice se han llevado a cabo sobre bombas que corresponderían una al Tipo P y otra al Tipo G, con una antigüedad de 3 y 6 años, respectivamente. Las características declaradas por el fabricante están recogidas en la Tabla 3. Los ensayos son los descritos en 3.4 y se han llevado a cabo a temperaturas entre 20 °C y 25 °C.

- **B.1 Ensayo de estabilidad del caudal con el aumento de la pérdida de carga**

Este ensayo se ha llevado a cabo a una temperatura entre 20 °C y 25 °C. El objetivo del ensayo es comprobar si las características de funcionamiento declaradas por el fabricante se siguen cumpliendo.

o **B.1.1 Bomba Tipo P**

Según las indicaciones del fabricante, la bomba mantiene el caudal dentro de $\pm 3 \%$ para el intervalo de caudal de 750 ml/min (40" H₂O) a 3 l/min (15" H₂O).

El ensayo se ha llevado a cabo a 1 l/min y 3 l/min. Los resultados obtenidos al realizar el ensayo, a una temperatura de (21 \pm 2) °C, se muestran en la [Tabla B.1](#) y en la [Figura B.1](#).

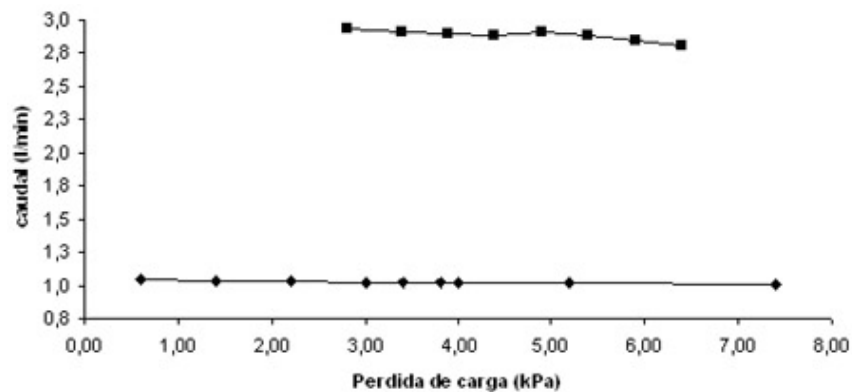
Los resultados obtenidos indican que la bomba mantiene el caudal, con una desviación inferior al 3 % sobre el caudal ajustado al inicio del ensayo a 1 l/min, hasta una pérdida de carga de 8 kPa (\approx 32" H₂O), y a 3 l/min hasta una pérdida de carga de 4 kPa (\approx 16" H₂O), es decir, que la bomba sigue cumpliendo las características indicadas por el fabricante.

Tabla B.1.
Resultados del ensayo de estabilidad del caudal (Q) con el aumento de pérdida de carga (ΔP) para la bomba Tipo P.

ΔP (kPa)	Q (l/min)	CV (%)	ΔP (kPa)	Q (l/min)	CV (%)
0,6	1,044	0,31	2,8	2,936	0,23
1,4	1,038	0,72	3,4	2,916	0,14
2,2	1,032	0,46	3,9	2,900	0,00
3,0	1,026	0,17	4,4	2,888	0,08
3,4	1,025	0,10	4,9	2,908	0,00
3,8	1,020	0,26	5,4	2,884	0,21
4,0	1,021	0,15	5,9	2,845	0,08
5,2	1,019	0,46	6,4	2,809	0,14
7,4	1,012	0,26	--	--	--

CV: Coeficiente de variación.

Figura B.1.
Representación gráfica del caudal (Q) frente a la pérdida de carga (ΔP) a 1 l/min (♦) y a 3 l/min (■) para la bomba Tipo P



Datos de la Tabla B.1.

• **B.1.2 Bomba tipo G**

Según las indicaciones del fabricante, la bomba mantiene el caudal dentro de $\pm 5 \%$ en todo el intervalo de caudales hasta una pérdida de carga de 25" H₂O.

El ensayo se ha llevado a cabo a 20 ml/min y 200 ml/min. Los resultados obtenidos a una temperatura de $(21 \pm 2) ^\circ\text{C}$, se muestran en la [Tabla B.2](#) y en la [Figura B.2](#).

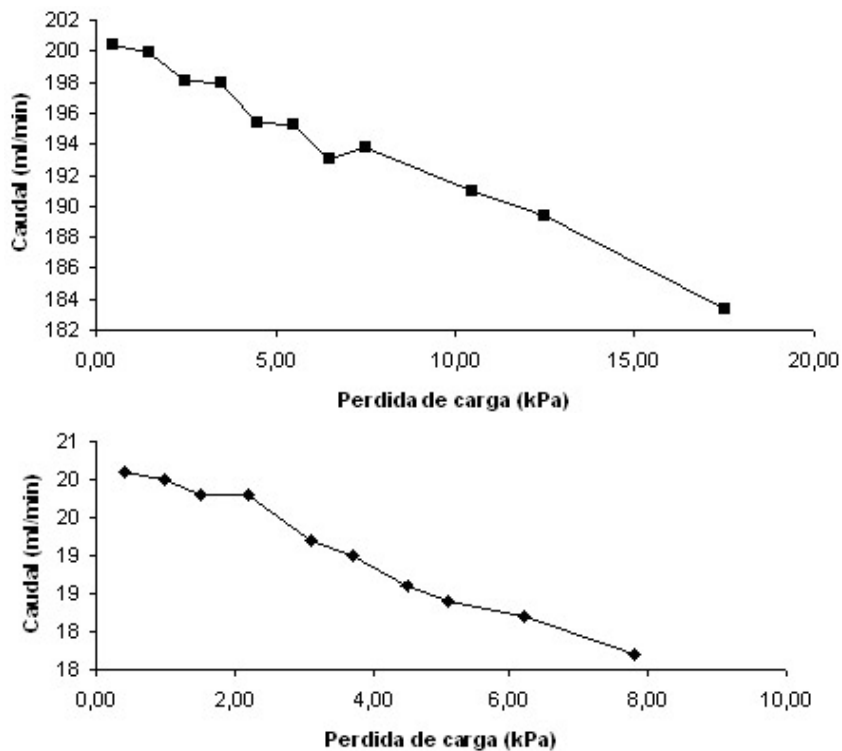
Los resultados obtenidos indican que la bomba sigue cumpliendo las indicaciones del fabricante de mantener el caudal dentro de $\pm 5\%$ hasta una pérdida de carga de $25'' \text{H}_2\text{O}$ ($\approx 5,6 \text{ kPa}$) a un caudal de 200 ml/min, pero a 20 ml/min solo se cumple hasta una pérdida de carga de $15'' \text{H}_2\text{O}$.

Tabla B.2
Resultados del ensayo de estabilidad del caudal con el aumento de pérdida de carga (ΔP) para la bomba Tipo G

(ΔP) (kPa)	Q (ml/min)	CV (%)	(ΔP) (kPa)	Q (ml/min)	CV (%)
0,5	200,4	0,28	0,4	20,1	0,48
1,5	199,9	0,09	1,0	20,0	1,08
2,5	198,1	0,18	1,5	19,8	0,16
3,5	198,0	0,16	2,2	19,8	0,19
4,5	195,4	0,24	3,1	19,2	0,13
5,5	195,2	0,06	3,7	19,0	0,26
6,5	193,1	0,18	4,5	18,6	0,14
7,5	193,8	0,15	5,1	18,4	0,23
10,5	191,0	0,08	6,2	18,2	0,10
12,5	189,4	0,09	7,8	17,8	0,18
17,5	183,3	0,12	--	--	--

CV: Coeficiente de variación.

Figura B.2
Representación gráfica del caudal (Q) frente a la pérdida de carga (DP) para la bomba Tipo G: a) 200 ml/min (■) b) 20 ml/min (♦)



Datos de la Tabla B.2.

● **B.2 Estabilidad del caudal con el tiempo**

El objetivo del ensayo es comprobar si las características de funcionamiento declaradas por el fabricante se siguen cumpliendo. Este ensayo se ha llevado a cabo a una temperatura entre 20 °C y 25 °C. Al inicio del ensayo el caudal se ajusta y se mide, realizándose tres mediciones.

● **B.2.1 Bomba tipo P**

La bomba, según las indicaciones del fabricante, mantiene el caudal dentro de $\pm 3 \%$ durante 10 horas a una pérdida de carga de 30" H₂O.

El ensayo se ha llevado a cabo a 2 l/min y 3 l/min. Los resultados obtenidos a una temperatura de $(21 \pm 2) \text{ °C}$, se muestran en la [Tabla B.3](#) y en la [Figura B.3](#).

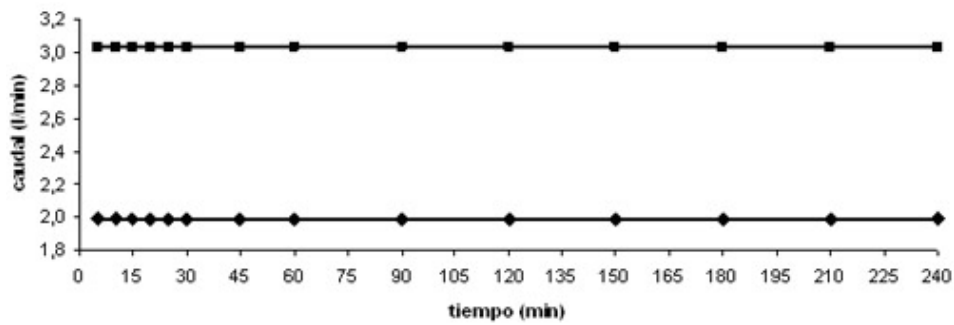
Los resultados obtenidos indican que la bomba mantiene el caudal constante con una desviación inferior al 3 %, con relación al caudal ajustado al inicio, como mínimo durante 4 horas. El ensayo debería continuar hasta cubrir las indicaciones del fabricante

Tabla B.3
Resultados del ensayo de estabilidad del caudal (Q) con el tiempo (t) para la bomba Tipo P

t (minutos)	Q inicial = 2,00 l/min (n=3, CV (%)= 0,03)		Q inicial = 3,04 l/min (n=3, CV (%)= 0,36)	
	Q (l/min)	CV (%)	Q (l/min)	CV (%)
5	1,985	0,12	3,028	0,06
10	1,984	0,00	3,010	0,06
15	1,980	0,08	3,010	0,12
20	1,980	0,29	2,996	0,12
25	1,975	0,13	2,999	0,15
30	1,977	0,08	2,995	0,21
45	1,975	0,13	3,000	0,20
60	1,975	0,08	3,005	0,13
90	1,972	0,06	2,993	0,39
60	1,970	0,21	3,011	0,32
120	1,972	0,12	3,006	0,17
150	1,976	0,13	2,998	0,21
210	1,973	0,17	2,994	0,17
240	1,975	0,15	3,001	0,15

CV: Coeficiente de variación, n: número de mediciones.

Figura B.3
Representación gráfica del caudal frente al tiempo para la bomba Tipo P a 2 l/min (♦) y a 3 l/min (■)



Datos de la Tabla B.3.

• **B.2.2 Bomba tipo G**

La bomba tipo G, según las indicaciones del fabricante, mantiene el caudal dentro de $\pm 5\%$ durante 8 horas a una pérdida de carga de 25" H₂O.

El ensayo se ha llevado a cabo a 20 ml/min y 200 ml/min. Los resultados obtenidos a una temperatura de $(21 \pm 2)^\circ\text{C}$, se muestran en la [Tabla B.4](#) y en la [Figura B.4](#).

Los resultados obtenidos indican que la bomba mantiene el caudal constante con una desviación inferior al 5 % sobre el caudal de ajuste como mínimo durante 8 horas.

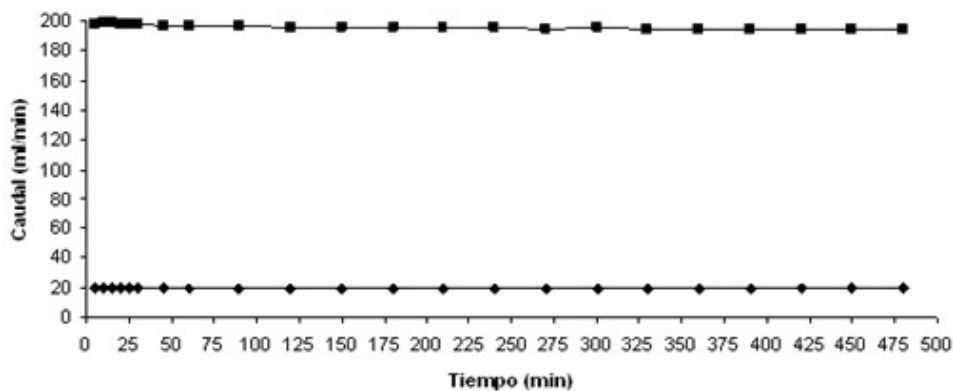
Tabla B.4
Resultados del ensayo de estabilidad del caudal (Q) con el tiempo (t) para la bomba Tipo G

t (minutos)	Q inicial = 198,3 ml/min (n=3, CV (%)= 0,16)		Q inicial = 20,0 ml/min (n=3, CV (%)= 0,08)	
	Q (ml/min)	CV (%)	Q (ml/min)	CV (%)
5	198,1	0,06	20,0	0,28
10	198,3	0,11	20,0	0,13
15	198,5	0,21	19,9	0,10
20	197,9	0,06	19,9	0,17
25	197,6	0,21	19,8	0,18
30	197,2	0,00	19,9	0,07
45	197,1	0,12	19,8	0,05
60	196,6	0,06	19,8	0,11
90	196,1	0,10	19,8	0,17
120	195,5	0,15	19,8	0,26
150	195,4	0,11	19,9	0,25
180	195,4	0,08	19,7	0,11
210	195,5	0,10	19,7	0,11
240	194,9	0,18	19,7	0,14
270	194,7	0,00	19,6	0,08
300	194,8	0,08	19,5	0,02
330	194,1	0,06	19,6	0,06
360	194,2	0,10	19,7	0,13

390	194,0	0,12	19,6	0,11
420	194,1	0,09	19,7	0,19
450	193,9	0,06	19,7	0,08
480	193,7	0,15	19,6	0,12

CV :Coeficiente de variación, n: número de mediciones.

Figura B.4
Representación gráfica del caudal frente al tiempo para la bomba Tipo G a 200 ml/min (■) y a 20 ml/min (♦)



Datos de la Tabla B.4.

• B.3 Dependencia de la temperatura

Según las indicaciones del fabricante, el intervalo de temperatura de operación es de 0 °C a 45 °C para la bomba Tipo P y de -20 °C a 45 °C para la bomba Tipo G.

El ensayo se ha llevado en un intervalo de temperatura de 5 °C a 30 °C utilizando, como alternativa a la cámara climática, un refrigerador para las temperaturas de 5 °C y 10 °C, un local climatizado para la temperatura de 20 °C y una estufa de laboratorio para la temperatura de 30 °C.

Los resultados obtenidos se muestran en la [Tabla B.5](#) y en la [Figura B.5](#).

Los resultados indican que mientras la bomba Tipo P es capaz de mantener el caudal constante, la bomba Tipo G únicamente lo mantiene en un intervalo aproximado de temperatura entre 15 °C y 25 °C.

Tabla B.5
Resultados del ensayo de dependencia de la temperatura (T) para las bombas Tipo P y G.

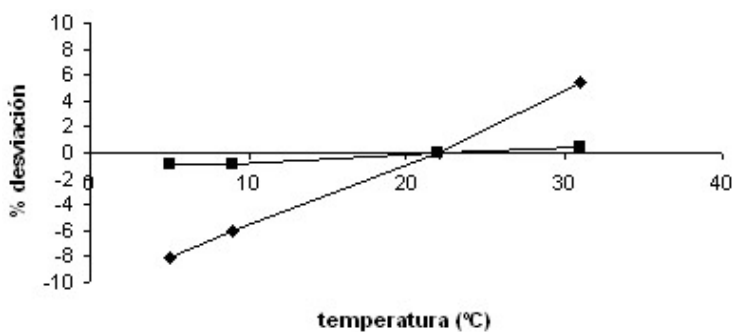
Bomba G			
T (°C)	Caudal (ml/min)	Desviación (%)	CV (%)
5	185,2	-8,00	0,19
10	189,2	-6,06	0,12
20	201,4	0,00	0,09
30	212,3	+5,41	0,05

Bomba P			
T (°C)	Caudal (l/min)	Desviación (%)	CV (%)
5	2,013	-1,47	0,12
10	2,014	-1,42	0,20
20	2,031	-0,59	0,15
30	2,040	-0,15	0,06

CV: Coeficiente de variación.

Figura B.5

Representación gráfica del porcentaje de desviación del caudal frente a la temperatura para las bombas Tipo P (■) y G (♦)



Datos de la Tabla B.5.

Para cualquier observación o sugerencia en relación con este Método puede dirigirse al
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
Centro Nacional de Verificación de Maquinaria
Camino de la Dinamita, s/n Monte Basatxu-Cruces - 48903 BARACALDO (VIZCAYA)
Tfn. 944 990 211 - 944 990 543 Fax 944 990 678
Correo electrónico.- cnvminsht@mtas.es