

# PROTOCOLO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE ASOCIADO AL VOLUMEN DE MUESTREO

OCTUBRE, 2023 | VERSIÓN 1.0

**EDITOR RESPONSABLE:**

Rolando Vilasau Domínguez  
Sección Riesgos Químicos, Instituto de Salud Pública.

**REVISOR:**

Christian Albornoz Villagra  
Jefe Sección Riesgos Químicos, Instituto de Salud Pública.

---

**Para citar el presente documento:**

Instituto de Salud Pública de Chile, Protocolo para la Determinación del Cálculo de Incertidumbre asociado al Volumen de Muestreo. Versión 1 año 2023

**Consultas o comentarios:**

Sección OIRS del Instituto de Salud Pública de Chile, [www.ispch.cl](http://www.ispch.cl)

---

# PROTOCOLO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE ASOCIADO AL VOLUMEN DE MUESTREO

---

## CONTENIDO

<b>1.- PRESENTACIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>2.- OBJETIVO</b> .....	<b>4</b>
<b>3.- ALCANCE</b> .....	<b>4</b>
3.1.- Población Objetivo .....	5
3.2.- Población Usuaría .....	5
<b>4.- MARCO LEGAL</b> .....	<b>5</b>
<b>5.- TERMINOLOGÍA</b> .....	<b>5</b>
<b>6.- FUENTES DE LA INCERTIDUMBRE</b> .....	<b>6</b>
6.1.- Incertidumbre Asociada a la Lectura de Caudal .....	6
6.2.- Incertidumbre del Calibrador o Medidor de Caudal .....	7
6.2.1.- Calibración del medidor de caudal .....	7
6.2.2.- Deriva del medidor de caudal .....	8
6.2.3.- Resolución del Medidor de Caudal .....	8
6.3.- Incertidumbre Asociada a la Estabilidad del Caudal Durante la Toma de Muestra .....	9
6.4.- Incertidumbre Asociada al Tiempo de Muestreo .....	10
6.4.1.- Resolución del medidor de tiempo .....	10
6.4.2.- Exactitud del Cronómetro (Experimental) .....	10
<b>7.- CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE</b> .....	<b>11</b>
7.1.- Incertidumbre típica combinada .....	11
7.2.- Incertidumbre expandida .....	11
<b>8.- BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>12</b>
<b>9.- PARTICIPANTES</b> .....	<b>12</b>
<b>ANEXO 1</b> .....	<b>13</b>
<b>ANEXO 2</b> .....	<b>16</b>
<b>ANEXO 3</b> .....	<b>18</b>

## 1. PRESENTACIÓN

La incertidumbre de medida es el parámetro fundamental admitido internacionalmente para caracterizar la calidad del resultado de una medición, ésta se define como un parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, basado en la información utilizada. El intervalo de incertidumbre es una estimación del área en la que se espera que se encuentre el valor verdadero de la medición realizada, y siempre lleva un signo más / menos ( $\pm$ )<sup>1</sup>.

La medición en el enfoque de la “incertidumbre” tiene como objetivo atribuir al mensurando un intervalo de valores razonables, en lugar de determinar el mejor valor verdadero posible. En este sentido, es esencial conocer el intervalo de incertidumbre para interpretar correctamente los resultados de la medida y decidir si las diferencias observadas reflejan algo más que la variabilidad experimental. Aspecto fundamental para verificar el cumplimiento de los límites permisibles para agentes químicos establecidos en el D.S. N°594/99, Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los lugares de trabajo. Si no se dispone de información sobre la incertidumbre, existe el riesgo de interpretar erróneamente los resultados y por lo tanto tomar decisiones incorrectas, lo que puede tener consecuencias adversas para la salud de los trabajadores y trabajadoras.

Es importante destacar que el resultado de una medición es, en general, una aproximación o estimación del valor de la magnitud que se mide (mensurando) y, únicamente, se puede considerar completo cuando está acompañado de una declaración acerca de la incertidumbre de dicha estimación. Por tal motivo, la incertidumbre representa el grado de confianza y fiabilidad de un resultado, por esta razón, constituye una medida cuantitativa de la calidad de ese resultado. En general, cuanto menor sea la incertidumbre mayor será la calidad del resultado.

Teniendo presente que la calidad es un concepto relativo; mayor o menor calidad depende de lo que se considera aceptable, por razones prácticas o técnicas, en cada campo de medida y lo que es calidad alta (incertidumbre baja) para un resultado puede ser calidad baja o inaceptable (incertidumbre alta o inaceptable) en otro.<sup>2</sup>

Este protocolo detalla las variables más importantes relacionadas con la estimación de la incertidumbre del volumen de aire muestreado. Cada fuente de incertidumbre es individualizada y descrita en detalle, y se incluye información sobre el tipo de distribución y el procedimiento de cálculo utilizado para estimarlas.

## 2. OBJETIVO

Identificar y cuantificar todas las fuentes de incertidumbre asociadas al volumen de aire muestreado para su posterior estimación.

## 3. ALCANCE

El alcance del presente protocolo se aplica para la identificación y cuantificación de las fuentes de incertidumbre asociadas al volumen de muestreo para la toma de muestra de agentes químicos.

1 Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM). 3ª Edición en español 2012.

2 CR-05/2009: Determinación de la Incertidumbre de Medida de Agentes Químicos. Aspectos Generales. Instituto Nacional de Seguridad y Salud del Trabajo, España.

### 3.1. Población Objetivo

Trabajadores(as) con exposición a sustancias químicas en los lugares de trabajo.

### 3.2. Población Usuaría

Profesionales que se desempeñan en el área de la higiene ocupacional.

## 4. MARCO LEGAL

Decreto Supremo N°594, de 1999, del Ministerio de Salud, que Aprueba el Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo.

DFL N°1, de 2005, del Ministerio de Salud, refunde el texto del Decreto con Fuerza de Ley N° 2.763 de 1979 y las Leyes N°18.933 y N°18.469.

## 5. TERMINOLOGÍA

- a) **Incertidumbre de medida:** Parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos al mensurando.
- b) **Incertidumbre típica:** Incertidumbre del resultado de una medición, expresada en forma de desviación típica
- c) **Incertidumbre típica combinada (uc):** Incertidumbre típica del resultado de una medición, cuando el resultado se obtiene a partir de los valores de otras magnitudes, igual a la raíz cuadrada de una suma de términos, siendo estos las varianzas o covarianzas de esas otras magnitudes, ponderadas en función de la variación del resultado de medida con la variación de dichas magnitudes.
- d) **Incertidumbre expandida (U):** Magnitud que define un intervalo en torno al resultado de una medición, y en el que se espera encontrar una fracción importante de la distribución de valores que podrían ser atribuidos razonablemente al mensurando.
- e) **Factor de cobertura (k):** Factor numérico utilizado como multiplicador de la incertidumbre típica combinada, para obtener la incertidumbre expandida.
- f) **Deriva instrumental:** variación continua o incremental de una indicación a lo largo del tiempo, debida a variaciones de las características metrológicas de un instrumento de medida.
- g) **Mensurando:** Magnitud que se desea medir. La especificación de un mensurando requiere el conocimiento de la naturaleza de la magnitud y la descripción del estado del fenómeno, cuerpo o sustancia cuya magnitud.
- h) **Resolución:** Mínima variación de la magnitud medida que da lugar a una variación perceptible de la indicación correspondiente. La resolución puede depender, por ejemplo, del ruido (interno o externo) o de la fricción. También puede depender del valor de la magnitud medida.

## 6. FUENTES DE LA INCERTIDUMBRE

Para lograr estimar la incertidumbre asociada al volumen de muestreo, debemos individualizar todas las variables que tienen un impacto directo en el cálculo del volumen de aire muestreado. Para identificar las fuentes de incertidumbre se utilizó como referencia el documento denominado: “Determinación de la Incertidumbre del volumen de aire muestreado CR-04/2008” del Instituto de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) de España. En dicho documento se establecen las siguientes fuentes de incertidumbre:

- a) Incertidumbre asociada a la lectura de caudal.
- b) Incertidumbre del calibrador o medidor de caudal.
- c) Incertidumbre asociada a la estabilidad del caudal durante la toma de muestra.
- d) Incertidumbre asociada al tiempo de muestreo.

### 6.1. Incertidumbre Asociada a la Lectura de Caudal

Determinar la lectura del caudal de una bomba de muestreo portátil con un patrón primario, nos permite conocer la variación que sufre este durante el proceso de calibración, el cual se debe realizar a cada una de las bombas de muestreo portátil que se utilizarán en las labores de muestreo de agentes químicos presentes en los lugares de trabajo. Existen dos opciones para obtener la estimación de la incertidumbre asociada a la lectura de caudal, estos son:

- a) La incertidumbre asociada a la lectura del caudal se puede obtener a través de un ensayo anual denominado “Curvas de Calibración”, en dicho ensayo y con la ayuda de un patrón primario (calibrador de flujo de aire), se efectúan lecturas periódicas del caudal de la bomba de muestreo portátil en diferentes periodos de tiempo y hasta completar un total de 8 horas continuas de funcionamiento. Posteriormente, con los registros obtenidos, se calcula el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación del caudal.
- b) La incertidumbre asociada a la lectura del caudal se puede obtener mediante el registro manual en terreno de las lecturas parciales tanto del caudal inicial como del caudal final, las cuales se utilizan para calcular el caudal de muestreo. Esta estimación de incertidumbre se obtiene con la media de todas las lecturas parciales de caudal entregadas por el calibrador en el lugar de trabajo y el coeficiente de variación (CV) correspondiente a la desviación estándar de esos datos. Es importante tener en cuenta que, en algunos casos, el calibrador solo muestra en su pantalla la media de dichas medidas, omitiendo las lecturas parciales. Estas lecturas parciales son esenciales para realizar el proceso de estimación de la incertidumbre con precisión.

El procedimiento para realizar este ensayo se encuentra especificado en la norma UNE-EN ISO 13137: 2022 Atmosferas en el Lugar de Trabajo. Bombas para Muestreo Personal de Agentes Químicos y Biológicos – Requisitos y métodos de prueba.

En la tabla N°1 se indica la fuente de incertidumbre, tipo de distribución y fórmula para calcular la incertidumbre de lectura del caudal (lectura)

**Tabla N°1**

*Incertidumbre Asociada al Número de Medidas.*

Fuente	Tipo de Distribución	Formula
Número de medidas	Normal	$u(\text{lectura}) = (CV_{\text{lectura}} / \sqrt{n})$

$$u_{lectura} = \frac{CV_{lectura}}{\sqrt{n}}$$

Donde:

$CV_{lectura}$ : es el coeficiente de variación calculado a partir de las lecturas, en porcentaje, y

$n$ : es el número de lecturas repetidas.

El anexo N°2 detalla los dos procedimientos que permiten obtener la incertidumbre asociada a la lectura de caudal de manera precisa.

## 6.2. Incertidumbre del Calibrador o Medidor de Caudal

La incertidumbre asociada al calibrador se compone de las siguientes variables:

- La calibración del medidor de caudal.
- La deriva del medidor de caudal.
- La resolución del medidor de caudal.
- La suma cuadrada de estas tres variables, permite calcular la incertidumbre del calibrador.

### 6.2.1. Calibración del medidor de caudal

La incertidumbre asociada a la calibración del medidor de caudal (medidor), se calcula a partir de la información contenida en el certificado de calibración emitido por el fabricante o laboratorio a cargo de realizar dicho procedimiento.

En la tabla N°2 se indica la fuente de incertidumbre, tipo de distribución y fórmula para calcular la incertidumbre del calibrador.

#### Tabla N°2

*Incertidumbre Asociada al certificado de calibración.*

Fuente	Tipo de Distribución	Formula
Certificado de calibración	Normal	$u(\text{cal}) = U_{\text{cert}} /$

Si en el certificado de calibración, la incertidumbre viene expresada como una incertidumbre expandida con un factor de cobertura  $k$ , la incertidumbre asociada al medidor se calcula asumiendo una distribución normal de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$u_{medidor} = \frac{u_{\text{certificado}}}{k} \%$$

Donde:

$u_{\text{certificado}}$ : es la incertidumbre expandida señalada en el certificado de calibración, en porcentaje,

$k$ : es el factor de cobertura señalado en el certificado de calibración. Generalmente  $k$  se toma igual a 2, lo que representa un intervalo de confianza aproximado del 95%.

### 6.2.2. Deriva del medidor de caudal

La incertidumbre asociada a la deriva del medidor de caudal, se calcula a partir de la información contenida en el certificado de calibración emitido por la empresa o laboratorio responsable de realizar el proceso de calibración. El valor a utilizar corresponde a la tolerancia máxima declarada en el certificado de calibración y es expresado en porcentaje (%).

En la tabla N°3 se indica la fuente de incertidumbre, tipo de distribución y fórmula para calcular la incertidumbre de la deriva.

**Tabla N°3**

*Incertidumbre Asociada a la Deriva de Calibración.*

Fuente	Tipo de Distribución	Formula
Certificado de calibraciones (Tolerancia máxima)	Rectangular	$u(\text{der.})=D/\sqrt{3}$

$$u(\text{der}) = D / \sqrt{3}$$

Donde:

$u_{\text{deriva}}$ : es la incertidumbre deriva del calibrador, en porcentaje,

D: Deriva del calibrador señalado en el certificado de calibración (tolerancia máxima).

### 6.2.3. Resolución del Medidor de Caudal

La resolución del medidor de caudal es la unidad más pequeña que el calibrador puede medir, este valor es declarado por el fabricante en el manual del equipo.

En la tabla N°4 se indica la fuente de incertidumbre, tipo de distribución y fórmula para calcular la incertidumbre asociada a la resolución del medidor de caudal.

**Tabla N°4**

*Incertidumbre Asociada a la Resolución del Medidor de Caudal*

Fuente	Tipo de Distribución	Formula
Fabricante/Registro de la lectura	Rectangular	$u(\text{res.})=\text{Res} / 2\sqrt{3}$

$$u(\text{res}) = \text{Res} / 2\sqrt{3}$$

Donde:

Res: es la resolución del medidor de caudal, en unidades de volumen. Para sumarlo a la incertidumbre total debe estar en porcentaje  $(\text{Res}/\text{caudal} \times 100) / 2\sqrt{3}$ .



### 6.3. Incertidumbre Asociada a la Estabilidad del Caudal Durante la Toma de Muestra

Las bombas de muestreo portátil son dispositivos auto-regulables diseñados y fabricados para mantener el caudal constante independiente de las variaciones de la caída de presión.

El manual básico sobre mediciones y toma de muestras ambientales y biológicas en salud ocupacional, 2013, señala que el caudal de muestreo debe mantenerse constante durante todo el periodo de evaluación, considerando para cumplir dicho objetivo, un rango de desviación respecto del caudal de referencia, de hasta un  $\pm 4\%$  (rango de aceptación).

Si bien los valores de estabilidad del caudal a diferentes pérdidas de carga son entregados por el fabricante en el manual instrucciones, es necesario que las bombas de muestreo se sometan a ensayos periódicos<sup>3</sup> para verificar que estos valores no han sufrido desviaciones significativas y cumplen con las normativas de referencia internacional.

Para evaluar la estabilidad del caudal de las bombas de muestreo con el aumento de pérdida de carga, se tomará como referencia el procedimiento de ensayo establecido en el punto 7.11 “Estabilidad del caudal con el aumento de la pérdida de carga” de la Norma UNE-EN ISO 13137.

En la tabla N°5 se indica la fuente de incertidumbre, tipo de distribución y fórmula para calcular la incertidumbre asociada a la pérdida de carga.

#### **Tabla N°5**

*Incertidumbre Asociada a la Pérdida de Carga*

Fuente	Tipo de Distribución	Formula
Fabricante/Ensayos de estabilidad	Rectangular	$u(\text{est}) = \Delta Q / \sqrt{3}$

$$Q\Delta = 100 \times \frac{Q\Delta P \text{ mínima} - Q\Delta P \text{ máxima}}{Q \text{ ajuste}}$$

Donde:

$\Delta Q P_{\text{mínima}}$ : es el caudal con la pérdida de carga mínima,

$\Delta Q P_{\text{máxima}}$ : es el caudal con la pérdida de carga máxima,

$Q_{\text{ajuste}}$ : es el caudal de ajuste.

El anexo N°1 detalla el procedimiento para la ejecución del ensayo denominado “pérdida de carga”, el cual permite conocer la estabilidad del caudal de manera precisa.

3 El Manual Básico Sobre Mediciones y Toma de Muestras Ambientales y Biológicas en Salud Ocupacional, señala en el punto 8.10 que es necesario mantener un programa de mantenimiento preventivo de acuerdo a lo recomendado por el fabricante, así como también ser sometidas a calibraciones anuales en el servicio técnico respectivo, todo lo cual deberá ser respaldado por los certificados correspondientes.

## 6.4. Incertidumbre Asociada al Tiempo de Muestreo

La principal fuente de incertidumbre en la medida del tiempo de muestreo es la exactitud con la que se toma la lectura del mismo, las cuales dependen fundamentalmente de la resolución del medidor de tiempo utilizado, es decir, si proporciona la lectura en segundos o minutos y la exactitud del cronómetro integrado según los criterios establecidos la norma UNE-EN ISO 13137.

La suma cuadrada de estas dos variables, permite calcular la incertidumbre asociada al tiempo de muestreo. A continuación, se detalla el cálculo de las variables que influyen en la estimación de la incertidumbre del tiempo de muestreo:

### 6.4.1 Resolución del medidor de tiempo

La componente de la incertidumbre típica asociada del medidor del tiempo ( $u_{res}$ ) se puede calcular asumiendo una distribución rectangular.

En la tabla N°6 se indica la fuente de incertidumbre, tipo de distribución y fórmula para calcular la incertidumbre asociada a la

**Tabla N°6**

*Incertidumbre Asociada la resolución del medidor del tiempo*

Fuente	Tipo de Distribución	Formula
Fabricante	Rectangular	$u_{res} = Res / 2\sqrt{3}$

$$u(res.) = Res / 2\sqrt{3}$$

Donde:

Res: es la resolución del medidor de tiempo de la bomba, en unidades de tiempo.

Si la resolución del medidor de tiempo es de 1 segundo, la componente de la incertidumbre del tiempo de muestreo es despreciable en todos los casos.

### 6.4.2. Exactitud del Cronómetro (Experimental)

La Norma UNE-EN ISO 13137, señala que si una bomba de muestreo cuenta con un cronómetro integrado, el tiempo cronometrado no debe desviarse más de  $\pm 0,5\%$  respecto del tiempo trazable por un cronómetro de referencia. Para verificar el cumplimiento del requisito anterior, el cronómetro de la bomba se compara con un cronómetro que sea trazable al patrón nacional de medición del tiempo o por medio de la hora oficial de Chile que se encuentra centralizada y controlada por el Instituto Hidrográfico de la Armada de Chile (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada) durante un periodo de al menos 1 hora. Se recomienda que la verificación se realice en un periodo de 8 horas. La verificación de la exactitud del cronómetro integrado se puede realizar conjuntamente con el ensayo de curvas de calibración.

Para determinar la incertidumbre asociada a la exactitud del cronómetro se utiliza la siguiente formula:

$$u(der) = D / \sqrt{3}$$

Donde:

D es la deriva

## 7. CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

Una vez identificadas todas las fuentes de incertidumbre señaladas en los títulos anteriores, se puede obtener la incertidumbre asociada al volumen de muestreo. Esta se obtiene a través de la incertidumbre típica combinada, que es el resultado de la suma cuadrada de todas las fuentes de incertidumbre (lectura del caudal, medidor o calibrador, estabilidad y tiempo). Finalmente, se obtiene la incertidumbre expandida, que corresponde a la multiplicación de la incertidumbre típica combinada por un factor de confianza del 95%.

### 7.1. Incertidumbre típica combinada

La incertidumbre típica combinada, asociada al volumen de aire muestreado ( $U_{c,volumen}$ ), se calcula a partir de las fuentes de incertidumbre indicadas en el punto 6, aplicando la siguiente ecuación:

$$u_{c,vol} = \sqrt{u_{lectura}^2 + u_{medidor}^2 + u_{estabilidad}^2 + u_{tiempo}^2}$$

### 7.2. Incertidumbre expandida

La incertidumbre expandida ( $U_{volumen}$ ), está expresada en porcentaje y se calcula como la incertidumbre típica combinada multiplicada por un factor de cobertura  $k=2$ , aplicando la ecuación:

$$U_{volumen} = K \times u_{c,vol}$$

$K=2$  para el 95% de nivel de confianza

Resultados: Los resultados asociados a la determinación del cálculo de incertidumbre se expresa en Volumen de muestreo  $\pm$

## 8. BIBLIOGRAFIA

- CR-04/2008. Determinación de la Incertidumbre del volumen de aire muestreado del Instituto de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), España.
- CR-05/2009. Determinación de la Incertidumbre de Medida de Agentes Químicos. Aspectos Generales. Instituto Nacional de Seguridad y Salud del Trabajo (INSST), España.
- 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 ISO 13137: 2022. Atmosferas en el Lugar de Trabajo. Bombas para los Muestreos Personales de Agentes Químicos y Biológicos.
- UNE – EN 482: 2021. Exposición en el Lugar de Trabajo, Procedimiento para la Determinación de la Concentración de los Agentes Químicos. Requisitos Generales Relativos al Funcionamiento.
- NTP 1168: 2021. Pérdida de carga asociada a muestreadores y elementos de retención en el muestreo de agentes químicos del Instituto de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) de España.
- Manual Básico sobre Mediciones y Toma de Muestras Ambientales y Biológicas en Salud Ocupacional del Instituto de Salud Pública de Chile, tercera edición, año 2013.
- Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM). 3ª Edición en español 2012.

## 9. PARTICIPANTES

Agradecemos la participación y contribución de:

- Jaione Montes Beneitez. Centro Nacional de Verificación y Maquinarias (CNVM) del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), Bilbao, España.
- José María Rojo Aparicio. Centro Nacional de Verificación y Maquinarias (CNVM) del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), Bilbao, España.
- Jorge Concha L. Principal Health/Higiene Regional. BHP Billiton Chile.
- Rómulo Zúñiga, Especialista en Estrategia de Gestión del Riesgo. Asociación Chilena de Seguridad (ACHS).
- José Luis Urnia, Especialista en Estrategia de Gestión del Riesgo. Asociación Chilena de Seguridad (ACHS).
- Luis Arriaza B. Higienista Ocupacional. Mutual de Seguridad de la Cámara Chilena de la Construcción.
- Mónica Arancibia J. Jefe de Proyectos de Higiene Ocupacional, Instituto de Seguridad del Trabajo.
- Ricardo Pastenes M. Profesor Titular y Consejero Normativo de Sedes, Universidad Técnica Federico Santa María, Sede Concepción.
- David Escanilla C. Sección Riesgos Químicos, Departamento de Salud Ocupacional. Instituto de Salud Pública de Chile.
- Felipe Beriestain H. Sección Riesgos Químicos, Departamento de Salud Ocupacional. Instituto de Salud Pública de Chile.

## ANEXO 1

### ENSAYO DE PERDIDA DE CARGA

#### ESTABILIDAD DEL CAUDAL CON EL AUMENTO DE LA PÉRDIDA DE CARGA

##### 1. Bombas de muestreo (P) con un intervalo nominal de caudal menor o igual a 5 lt/min.

Cuando se ajuste el caudal en el intervalo nominal de caudal de la bomba, el caudal no debe desviarse más de  $\pm 5\%$  del valor inicial para variaciones de la pérdida de carga en el intervalo especificado en la tabla N°7.

##### 2. Bombas de muestreo (G) con un intervalo nominal de caudal superior a 5 lt/min.

Cuando se ajuste el caudal en el intervalo nominal de caudal de la bomba, el caudal no debe desviarse más de  $\pm 5\%$  del valor inicial para variaciones de la pérdida de carga en el intervalo especificado por el fabricante de la bomba.

**Tabla N°7**

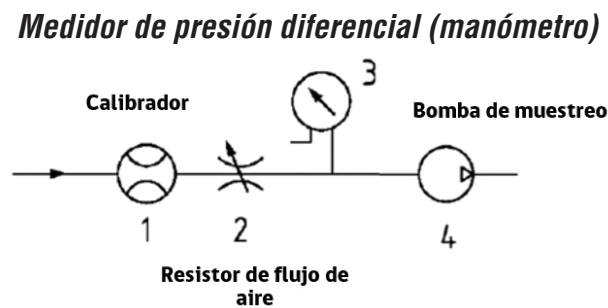
*Intervalo de pérdida de carga requerido*

Tipo de bomba	Caudal ajustado lt/min	Intervalo de pérdida de carga requerido Kpa
P	1	0,2 a 4,0
	2	0,3 a 4,0
	3	0,4 a 4,5
	4	0,6 a 5,5
	5	0,7 a 5,0
G	0,01	0,02 a 0,2
	0,03	0,2 a 1,0
	0,05	0,2 a 2,0
	0,1	0,2 a 2,6
	0,2	0,5 a 6,0
	0,3	1,0 a 10,0
	0,5	2,0 a 10,0

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

### 3. Montaje para el ensayo de pérdida de carga

El montaje del ensayo de pérdida de carga se realizará siguiendo el siguiente esquema:



- a) En función del tipo de prueba a realizar, se selecciona un resistor de flujo que se conecta a la salida del calibrador por un extremo y a la entrada de la bomba de muestreo por el otro. Se mide la pérdida de carga con respecto a la presión ambiente mediante un medidor de presión diferencial (manómetro) que se conecta a la línea entre el resistor de flujo y la entrada de la bomba. Tanto la entrada de la bomba como el resistor de flujo y el medidor de presión diferencial están conectados en serie para medir y controlar el flujo.
- b) Todas las conexiones deben ser estancas. El diámetro y la longitud de los tubos utilizados deberían ser tan reducidos como sea posible, con una longitud total máxima de 100 cm y un diámetro interno nominal de 6 mm.
- c) Los ensayos deben llevarse a cabo con las baterías completamente cargadas.
- d) Los ensayos deben realizarse en el intervalo de 20°C a 25°C. Se debe medir la temperatura y registrar los parámetros en el informe del ensayo.
- e) En el apartado N°7.11.3 la norma UNE-EN ISO 13137, indica que durante el ensayo se deben generar al menos cinco pérdidas de carga, lo anterior junto a la pérdida de carga inicial, generaría un total de 6 registros.

#### **Tabla N°8.**

*Ajustes del caudal para el ensayo de estabilidad del caudal con el aumento de la pérdida de carga*

Tipo de bomba	Valor máximo del intervalo nominal de caudal de la bomba lt/min	Ajuste para el ensayo del caudal
P	£ 5	Valor mínimo del intervalo nominal de caudal de la bomba Valor máximo del intervalo nominal de caudal de la bomba
	> 5	Valor mínimo del intervalo nominal de caudal de la bomba Valor máximo del intervalo nominal de caudal de la bomba
G	£ 0.3	Valor máximo del intervalo nominal de caudal de la bomba
	> 0.3	Valor máximo del intervalo nominal de caudal de la bomba

### **Procedimiento**

- a) Se ajusta la bomba a uno de los caudales de ensayo dados en la tabla N°8 y el resistor a la pérdida de carga mínima establecida para ese caudal. Se deja estabilizar durante 20 minutos.
- b) Se aumenta la pérdida de carga, en al menos cinco etapas, La prueba debe continuar hasta que la bomba se pare o el caudal se desvíe más del 5%. Para valores del caudal ajustado entre los indicados en la tabla N°7, la pérdida de carga requerida se obtiene por interpolación lineal.
- c) En cada etapa, después de variar la pérdida de carga, se esperará 2 minutos antes de registrar el caudal y la pérdida de carga.

## ANEXO 2

### INCERTIDUMBRE LECTURA DE CAUDAL

Existen dos opciones para obtener la incertidumbre asociada a la lectura de caudal: a través de un ensayo anual mediante la obtención de curvas de calibración, o utilizando el número de medidas o lecturas obtenidas durante el proceso de calibración que se lleva a cabo en terreno (inicial y final). En ambos casos, se requiere un mínimo de 10 lecturas parciales, las cuales deben registrarse en un documento que permita identificar el número de lecturas, el promedio aritmético de estas, la desviación estándar y la varianza.

Es importante mencionar que, aunque se hayan adquirido bombas para las que el fabricante declare que cumplen con los requisitos señalados en alguna normativa internacional (como por ejemplo la Norma UNE EN 1232) y especifique que estas cumplen con mantener el caudal constante, esto no se puede considerar garantizado durante toda la vida de la bomba. Las especificaciones de fábrica sólo son válidas para bombas recientemente fabricadas, por lo tanto y con el objetivo de mantener un control permanente de las bombas de muestreo, es necesario realizar el ensayo de curvas de calibración al menos una vez al año en todos los equipos utilizados para la toma de muestra. En la tabla N°9 se proporciona un ejemplo de cómo se pueden registrar las lecturas parciales, la periodicidad de medición y el cálculo de los estadígrafos para construir la curva de calibración. El ensayo se realiza por el operador de las bombas en condiciones de laboratorio y la información obtenida tiene una validez de un año.

**Tabla N°9.**

*Ejemplo.*

Tiempo	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	X	CV (%)	S	Varianza
0	1,675	1,676	1,674	1,671	1,669	1,669	1,670	1,671	1,674	1,674	1,6723	0,15 %	0,002	6,67E-06
5	1,671	1,673	1,673	1,671	1,670	1,669	1,670	1,672	1,672	1,673	1,6714	0,09 %	0,001	2,04E-06
10	1,669	1,670	1,673	1,673	1,675	1,674	1,673	1,672	1,669	1,669	1,6717	0,14 %	0,002	5,122E-06
15	1,669	1,670	1,672	1,672	1,672	1,673	1,669	1,668	1,669	1,670	1,6704	0,10 %	0,001	2,93E-06
20	1,667	1,670	1,671	1,670	1,670	1,671	1,669	1,667	1,667	1,670	1,6692	0,10 %	0,001	2,62E-06
25	1,672	1,672	1,672	1,676	1,672	1,672	1,672	1,673	1,674	1,674	1,6729	0,08 %	0,001	1,877E-06
30	1,674	1,674	1,671	1,671	1,673	1,674	1,674	1,676	1,674	1,671	1,6732	0,10 %	0,001	2,844E-06
75	1,666	1,666	1,665	1,664	1,665	1,666	1,667	1,668	1,668	1,666	1,6661	0,08 %	0,001	1,655E-06
135	1,657	1,660	1,657	1,657	1,657	1,657	1,659	1,657	1,657	1,656	1,6574	0,07 %	0,001	1,377E-06
165	1,653	1,652	1,652	1,653	1,653	1,653	1,652	1,652	1,653	1,652	1,6525	0,03 %	0,0005	2,777E-07
195	1,664	1,664	1,664	1,662	1,664	1,664	1,664	1,663	1,664	1,663	1,6636	0,04 %	0,0006	4,88E-07
225	1,658	1,654	1,656	1,658	1,654	1,657	1,657	1,655	1,657	1,658	1,6564	0,10 %	0,0015	2,48E-06
255	1,656	1,657	1,657	1,657	1,653	1,658	1,657	1,652	1,660	1,657	1,6564	0,14 %	0,002	5,37E-06
285	1,658	1,652	1,654	1,657	1,656	1,656	1,652	1,659	1,661	1,655	1,6560	0,18 %	0,00290	8,44E-06
315	1,652	1,659	1,660	1,656	1,658	1,656	1,657	1,655	1,663	1,659	1,6575	0,18 %	0,003	9,166E-06



345	1,656	1,658	1,655	1,656	1,656	1,656	1,659	1,661	1,660	1,656	1,6573	0,12 %	0,0020	4,233E-06
375	1,649	1,650	1,649	1,649	1,649	1,648	1,649	1,649	1,650	1,648	1,6490	0,04 %	0,0006	4,444E-07
405	1,647	1,645	1,647	1,648	1,644	1,648	1,646	1,648	1,648	1,644	1,6465	0,10 %	0,0016	2,722E-06
435	1,653	1,654	1,651	1,653	1,651	1,653	1,654	1,653	1,653	1,650	1,6525	0,08 %	0,0013	1,833E-06
485	1,644	1,647	1,648	1,647	1,644	1,645	1,648	1,645	1,646	1,643	1,6457	0,11 %	0,0017	3,122E-06
											1,6609	0,11 %		
											Promedio Lecturas	CV Lectura o coeficiente de variación combinado (spool)		

Para obtener el Coeficiente de variación combinado (Spool) cuando los grados de libertad son los mismos (en este caso 10) la fórmula es:

$$S_{pool} = \sqrt{\frac{\sum_1^k s_i^2}{k}}$$

Siendo  $k$  el número de conjuntos de datos, o, dicho de otra forma, el número de varianzas combinadas.

Si se opta por no utilizar la información obtenida en las curvas de calibración, se podrá determinar en cada campaña de medición, durante el proceso de calibración inicial y final, el coeficiente de variación, la desviación estándar, el promedio aritmético y la varianza. Para ello, se tomarán al menos 10 lecturas parciales en cada proceso de calibración (inicial y final). En la tabla N°10 se indica un ejemplo.

### Tabla N°10.

Ejemplo medidas de calibración en terreno.

Calibración	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	X	S	varianza
Inicial	1,675	1,676	1,674	1,671	1,669	1,669	1,670	1,671	1,674	1,674	1,6723	0,002	6,677E-06
Final	1,671	1,673	1,673	1,671	1,670	1,669	1,670	1,672	1,672	1,673	1,6714	0,001	2,044E-06

Con la información obtenida en el ensayo de curvas de calibración o el proceso de calibración inicial y final durante las actividades de muestreo, se calculará el coeficiente de variación expresado en porcentaje.

Es importante mencionar que los equipos y accesorios de muestreo utilizados para realizar las pruebas mencionadas anteriormente, como son las bombas de muestreo, ciclones si corresponde, cabezales de muestreo<sup>4</sup>, mangueras de conexión y calibradores, deben ser los mismos que se utilizaran durante el proceso de muestreo, ya que la incertidumbre estará asociada a la combinación de cada uno de los componentes del tren de muestreo.

4 El Cabezal de muestreo utilizado en el ensayo de curvas de calibración o proceso de calibración inicial y final, es de uso exclusivo para estas actividades.

## ANEXO 3

### EJEMPLO CALCULO DE INCERTIDUMBRE

Se necesita determinar la incertidumbre asociada al volumen de muestreo con la siguiente información:

Bomba	B1
Calibrador	C1
Coefficiente de variación	0,15%
Caudal de referencia	2000 cc/min
Tiempo de muestreo	540 min

#### 1. Incertidumbre asociada a la lectura de caudal.

Tomando como referencia el ejemplo de ensayo de curvas de calibración indicado en la tabla N°9, se puede corroborar que se realizaron 10 lecturas parciales distribuidas en diferentes periodos de tiempo hasta completar un total de 8 horas de funcionamiento continuo de la bomba de muestreo. Luego, se estimó el coeficiente de variación de las lecturas de caudal o spool, que en este caso fue de 0,15%, finalmente, se calculó la incertidumbre de lectura del caudal a través de la siguiente ecuación:

$$u(\text{lec}) = (\text{spool} / \sqrt{n})$$

$$u(\text{lec}) = (0,15 / \sqrt{10})$$

$$= 0,05\%$$

#### 2. Incertidumbre del calibrador o medidor de caudal.

Esta información se debe verificar en el certificado de calibración emitido por el fabricante o laboratorio. Para este calibrador, el laboratorio indicó un valor  $K=2$ , y una incertidumbre de 0,602 cc/min, para un caudal de 2000 cc/min es, por lo tanto, con los datos obtenidos, podemos estimar la incertidumbre mediante la siguiente ecuación:

$$u(\text{cal}) = U_{\text{cert}}/k$$

$$u(\text{cal}) = 0,602 / 2$$

$$u(\text{cal}) = 0,301 \text{ cc/min}$$

$$u(\text{cal}) = (0,301/2000) \times 100$$

$$u(\text{cal}) = 0,015\%$$

#### 3. Incertidumbre asociada a la deriva del medidor de caudal

La tolerancia máxima declarada en el certificado de calibración del medidor de caudal fue de 1%, por lo tanto, la incertidumbre asociada a la deriva de la calibración sería:

$$u(\text{der.}) = D / \sqrt{3}$$

$$u(\text{der.}) = 1 / \sqrt{3}$$

$$u(\text{der.}) = 0,577\%$$

#### 4. Incertidumbre asociada a la resolución del medidor de caudal

La resolución es la medida del menor incremento o disminución que un instrumento puede medir. En nuestro caso, si el caudal obtenido durante el proceso de calibración fuera de 2000,3 cc/min, la resolución sería 0,1, por lo tanto, la incertidumbre asociada a la resolución del medidor de caudal:

$$u(\text{res.}) = \text{Res} / 2\sqrt{3}$$

$$u(\text{res.}) = 0,1 / 2\sqrt{3}$$

$$u(\text{res.}) = 0,029 \text{ cc/min}$$

$$u(\text{res.}) = (0,029 / 2000,3) \times 100$$

$$u(\text{res.}) = 0,001\%$$

#### 5. Incertidumbre asociada a la estabilidad del caudal durante la toma de muestra.

Tomando como referencia el ensayo descrito en el anexo 1, podemos obtener la incertidumbre asociada a la pérdida de carga. Para desarrollar el ejemplo se tomarán los datos de la pérdida de carga mínima y máxima, para este caso y a modo de ejemplo se considerarán los siguientes datos:

$$Q_{\Delta P \text{ mínima}} = 1924,0 \text{ cc/min}$$

$$Q_{\Delta P \text{ máxima}} = 1886,1 \text{ cc/min}$$

$$Q_{\text{ajuste}} = 2000 \text{ cc/min}$$

$$Q_{\Delta} = 100 \times \frac{Q_{\Delta P \text{ mínima}} - Q_{\Delta P \text{ máxima}}}{Q_{\text{ajuste}}}$$

$$Q_{\Delta} = 100 \times \frac{1924,0 - 1886,1}{2000}$$

$$Q_{\Delta} = 1,96\%$$

$$u(\text{estabilidad}) = 1,96 / \sqrt{3}$$

$$u(\text{estabilidad}) = 1,13\%$$

Incertidumbre Asociada la resolución del medidor del tiempo

La bomba B1 tiene un cronometro incorporado en minutos, por lo tanto, la resolución es de 1.

$$u(\text{res.}) = \text{Res} / 2\sqrt{3}$$

$$u(\text{res.}) = 1 / 2\sqrt{3} = 0,29 \text{ min.}$$

Por lo tanto, si ya conocemos la incertidumbre de la resolución del cronómetro de una bomba, podemos conocer la incertidumbre (%) en relación a un tiempo de muestreo. Como el muestreo tuvo una duración de 540 minutos, la incertidumbre de la resolución en % será:

$$u(\text{res.}) = (0,29 / 540) \times 100 = 0,05\%$$

## 6. Incertidumbre asociada a la exactitud del cronometro

Por medio del ensayo de tiempo, se comparó el cronometro de la bomba con la hora oficial de Chile que se encuentra centralizada y controlada por el Instituto Hidrográfico de la Armada de Chile (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada) durante un periodo de 220 minutos. Luego de apagar la bomba se procedió a verificar el registro del tiempo de funcionamiento indicado en la pantalla de la bomba, que finalmente registró un tiempo de 219 minutos, presentando una diferencia con la hora oficial de Chile de 1 minuto.

Lectura bomba: 219 min (Indicado en pantalla)

A continuación, se procede a estimar la incertidumbre del tiempo:

$$u(\text{exact.}) = (1 / 219 * 100) / \sqrt{3} = 0,26 \%$$

Por lo tanto, si ya conozco la incertidumbre de la deriva (exactitud) para la bomba de muestreo B1, puedo conocer cuál será la exactitud de esta bomba para una medición de 540 minutos:

Tiempo de Muestreo: 540 minutos

$$\text{Muestreo B1} = 540 * 0,26 / 100 = 1,42 \text{ minutos}$$

Finalmente, y con todas las fuentes de incertidumbre asociadas al volumen de muestreo se procede a calcular la incertidumbre típica combinada:

- Incertidumbre asociada a la lectura de caudal.  
 $= (0,15 / \sqrt{10}) = 0,05\%$
- Incertidumbre del calibrador o medidor de caudal  
 $= \sqrt{(0,015^2 + 0,577^2 + 0,001^2)} = 0,58\%$
- Incertidumbre asociada a la estabilidad del caudal durante la toma de muestra.  
 $= 1,96 / \sqrt{3} = 1,13\%$
- Incertidumbre asociada al tiempo de muestreo.  
 $= \sqrt{(0,05^2 + 0,26^2)} = 0,27\%$

### Incertidumbre típica combinada:

$$u_{c,\text{vol}} = \sqrt{0,05^2 + 0,58^2 + 1,13^2 + 0,27^2}$$

$$u_{c,\text{vol}} = 1,30$$

### Incertidumbre expandida:

$$U_{\text{volumen}} = K \times u_{c,\text{vol}}$$

$K=2$  para el 95% de nivel de confianza

**Resultados:** Los resultados asociados a la determinación del cálculo de incertidumbre se expresa en:

Volumen de muestreo  $\pm U_{\text{volumen}}$

$$U_{\text{volumen}} = \pm 2,60\%$$