

Determinación de la incertidumbre de medida de agentes químicos (I): gases y vapores

Determination of the uncertainty of chemical agents' measurement (I): gases and vapours
Détermination de l'incertitude de mesure d'agents chimiques (I) : gaz et vapeurs

Redactoras:

Begoña Uribe Ortega
Lda. en Ciencias Químicas

Natividad Montes Beneitez
Lda en ciencias Químicas

M^a José Quintana San José
Dra. en Ciencias Químicas

CENTRO NACIONAL DE VERIFICACIÓN
DE MAQUINARIA

Siguiendo los criterios de la Guía ISO (GUM) y de la norma UNE- EN 1076:2010, este documento aporta información para la determinación de la incertidumbre de medida de agentes químicos presentes en la forma de gases o vapores, a partir de la información de validación de los Métodos de Toma de muestra y Análisis (MTA) del INSHT.

Vigencia	Actualizada	Observaciones
VÁLIDA		

1. INTRODUCCIÓN

En el campo de la evaluación de la exposición a agentes químicos en los lugares de trabajo, una forma de evaluar la exposición es medir la concentración del agente químico en aire en la zona de respiración del trabajador.

La concentración del agente químico se calcula como el cociente entre la masa del agente químico presente en el muestreador y el volumen de aire que pasa a través del mismo. Por tanto, para estimar la incertidumbre asociada a la concentración del agente químico en el aire, hay que considerar todos los factores que afecten a la determinación de la masa del agente químico y del volumen de aire. Además, hay que tener en cuenta que la masa retenida en el muestreador puede verse afectada por factores tales como la eficacia de muestreo, las condiciones ambientales del lugar de trabajo y la concentración del agente químico en el aire. Otro factor a considerar en la estimación de la incertidumbre es la pérdida de masa que puede producirse en la etapa de transporte y almacenamiento.

Este documento es una guía sobre como estimar la incertidumbre asociada a la determinación de la concentración de agentes químicos en el aire en el lugar de trabajo haciendo uso de los datos referentes a los equipos utilizados en el muestreo, de la información que se obtiene de los métodos de toma de muestra y análisis del INSHT (MTA), y de la obtenida por el laboratorio en la aplicación de dicho método.

2. PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE

La incertidumbre de medida está formada, en general, por muchos componentes. Para realizar una estimación de la incertidumbre, deben seguirse los pasos siguientes:

- Especificación del mensurando, que en este caso es la concentración de agente químico en el aire en el lugar de trabajo.

- Identificación de las principales fuentes de incertidumbre.
- Cuantificación individual de cada componente.
- Combinación de las componentes para obtener la incertidumbre típica combinada, uc.
- Cálculo de la incertidumbre expandida, U.

3. IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE INCERTIDUMBRE

Con el fin de identificar las principales fuentes de incertidumbre, deben estudiarse cuidadosamente todas las etapas del método de medición (muestreo, transporte y almacenamiento, y análisis de la muestra). La figura 1 muestra las principales componentes de incertidumbre que afectan a la determinación de la concentración de agentes químicos en el lugar de trabajo.

4. CUANTIFICACIÓN DE LAS COMPONENTES DE LA INCERTIDUMBRE

Las componentes de la incertidumbre son la asociada al muestreo, la asociada al transporte y almacenamiento y la asociada al análisis.

Incertidumbre asociada al muestreo

En relación con el muestreo, se pueden diferenciar dos tipos de fuentes de incertidumbre: las asociadas a los equipos utilizados en el muestreo (caudal y tiempo de muestreo) y las asociadas al funcionamiento del muestreador (eficacia de muestreo, condiciones ambientales, etc.)

Caudal de muestreo

En un muestreo por aspiración, la incertidumbre relativa asociada al caudal se calcula por combinación de las incertidumbres relativas asociadas al medidor de caudal utilizado para ajustar la bomba al caudal requerido para

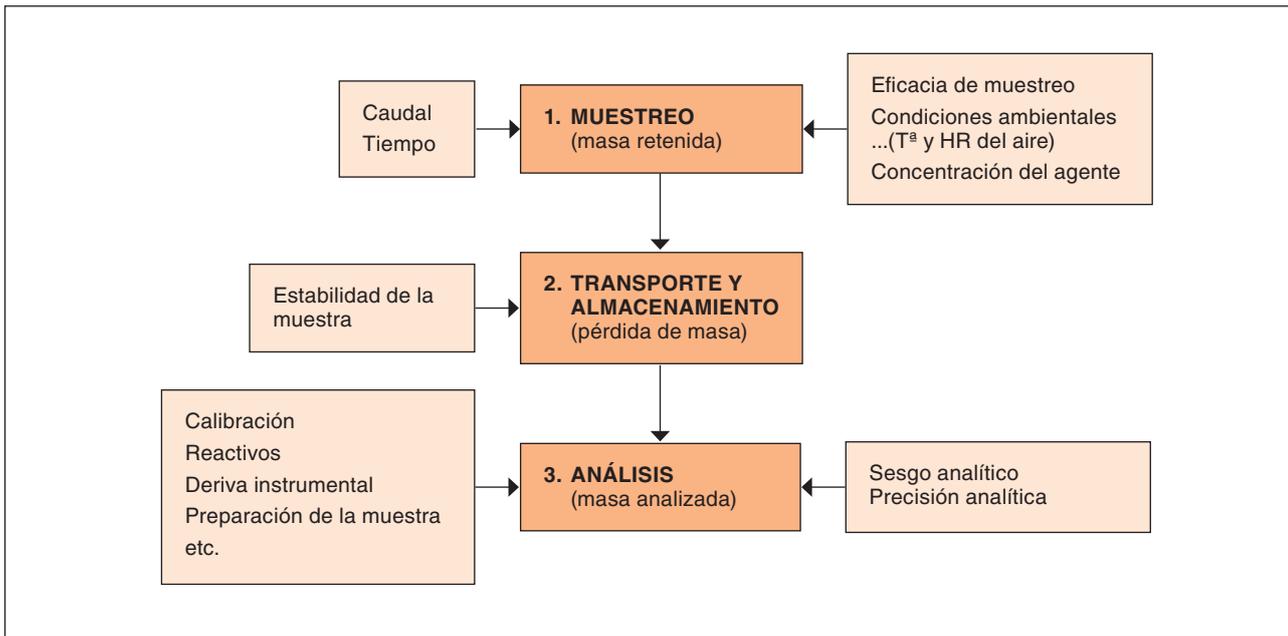


Figura 1. Proceso de medición

el muestreo, a la variabilidad de las lecturas del caudal de muestreo y a la estabilidad del caudal durante el muestreo (véase CR-04 (10) y NTP 930 (11)).

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, que depende fundamentalmente de la resolución del medidor de tiempo utilizado (véase CR-04 y NTP 930).

De forma general, para tiempos de muestreo superiores a 2 h, la incertidumbre asociada al tiempo de muestreo puede considerarse despreciable.

Funcionamiento del muestreador

Los principales factores de influencia que afectan al funcionamiento del muestreador son la eficacia de muestreo (volumen de ruptura), las condiciones ambientales (T^a y HR del aire) y la concentración del agente químico el lugar de trabajo.

El estudio del efecto de dichos factores requiere el uso de un sistema de generación de atmósferas controladas, que normalmente el usuario de los métodos no tiene disponible, por lo que la incertidumbre asociada a los mismos se puede obtener de la información de la validación incluida en el correspondiente método de toma de muestra y análisis (MTA) de acuerdo con la expresión (A):

$$u_{\text{factores}} = \sqrt{u_{EM}^2 + u_{\text{Conc.}}^2 + u_{HR}^2 + u_T^2} \quad (\text{A})$$

siendo:

- u_{EM} la incertidumbre asociada a la eficacia de muestreo, en %,
- $u_{\text{conc.}}$ la incertidumbre asociada al efecto de la concentración de agente químico, en %,
- u_{HR} la incertidumbre asociada al efecto de la humedad del aire, en %,
- u_T la incertidumbre asociada al efecto de la temperatura del aire, en %

Para los MTA publicados, validados de acuerdo con la nueva norma UNE-EN 1076:2010 la incertidumbre asociada a estos factores se puede tomar directamente del método.

Para los MTA publicados anteriormente, validados de acuerdo con el protocolo del INSHT MTA/PV-1(2)/1998, el efecto de la humedad del aire y de la concentración del agente químico se estudia en un ensayo conjunto, mientras que el efecto de la temperatura no está estudiado. La incertidumbre asociada a los factores se puede calcular a partir de los datos presentados en la tabla "Muestreo/Análisis. Datos intralaboratorio" mediante la ecuación (B):

$$u_{\text{factores}} = \sqrt{\left(\frac{S_{\text{medio}}}{k}\right)^2 + \left(1 + \frac{1}{N}\right)CV_{\text{media}}^2 + \left(1 + \frac{1}{n}\right)CV_{\text{comb.}}^2 + u_{\text{ref.}}^2} \quad (\text{B})$$

siendo:

- S_{medio} el sesgo medio, en %,
- k el factor de cobertura,
- N el número de datos tenidos en cuenta para el cálculo del sesgo medio,
- CV_{medias} el coeficiente de variación de las medias, en %,
- n el número de muestras por ensayo,
- CV_{comb} el coeficiente de variación promediado, en %,
- u_{ref} la incertidumbre asociada a la concentración de referencia, en %.

NOTA 1: Para un sistema dinámico de generación de atmósferas de ensayo, la incertidumbre asociada a la concentración de referencia se espera que sea $\leq 3\%$.

NOTA 2: Si se exceden las condiciones de muestreo indicadas en el método, el efecto asociado a la eficacia de muestreo (volumen de ruptura) debe estudiarse y tratarse como una componente más de incertidumbre, que se añadirá en la ecuación (B).

NOTA 3: Estudios posteriores realizados para estimar el efecto de la temperatura muestran que dicho efecto es despreciable en la mayoría de los casos.

Combinación de las componentes de incertidumbre asociadas al muestreo

La incertidumbre típica combinada relativa asociada al muestreo se puede calcular como la raíz cuadrada de la

suma de los cuadrados de las componentes de incertidumbre, de acuerdo con la ecuación (C):

$$u_{\text{muestreo}} = \sqrt{u_Q^2 + u_t^2 + u_{\text{factores}}^2} \quad (C)$$

siendo:

- u_Q la incertidumbre relativa asociada al caudal de muestreo,
- u_t la incertidumbre relativa asociada al tiempo de muestreo,
- u_{factores} la incertidumbre relativa asociada a los factores que afectan al funcionamiento del muestreador.

Incertidumbre asociada al transporte y almacenamiento

La incertidumbre asociada al transporte y almacenamiento se puede tomar directamente del MTA o calcularse a partir de los datos presentados en la tabla "Estudio de estabilidad de las muestras", siempre que las muestras se conserven y se analicen en las condiciones y tiempos indicados en el método.

Suponiendo una distribución rectangular, la incertidumbre asociada al almacenamiento de la muestra viene dada por la ecuación (D):

$$u_{\text{Alm}} = \frac{|\Delta_{\text{Alm}}|}{\sqrt{3}} \quad (D)$$

siendo $|\Delta_{\text{Alm}}|$ la diferencia entre las medias de los resultados de las muestras analizadas inmediatamente después del muestreo y del periodo de almacenamiento, en %.

Incertidumbre asociada al análisis

El procedimiento de cálculo de la incertidumbre asociada a la determinación de la masa debe cubrir todos los pasos en la cadena analítica desde la llegada de la muestra al laboratorio hasta la emisión del resultado.

La forma de cuantificar cada componente dependerá de la información de la que se disponga. Si se dispone de datos experimentales de medidas repetidas, se utilizarán métodos estadísticos. Si no se dispone de tales datos, se asimilará la información disponible a una distribución normal, rectangular o triangular.

Un procedimiento para cuantificar las componentes de incertidumbre individuales puede ser el siguiente:

1. Recopilar toda la información disponible sobre el funcionamiento del método analítico utilizado en el laboratorio, y de los equipos, materiales y reactivos empleados. A continuación se da una lista no exhaustiva de fuentes de información:
 - validación del método,
 - resultados de la recuperación analítica,
 - datos de control de calidad internos,
 - calibración o verificación de los equipos y materiales,
 - indicaciones del fabricante,
 - pureza de los reactivos, etc.
2. Examinar que componentes de la incertidumbre están incluidas en la información recopilada.
3. Si alguna componente de la incertidumbre no está adecuadamente cubierta por los datos existentes, diseñar y llevar a cabo un experimento para obtener los datos requeridos.

Aunque el procedimiento de cálculo puede parecer complejo, generalmente las principales contribuciones a la

incertidumbre son la precisión analítica (reproducibilidad intralaboratorio) y el sesgo del laboratorio siempre que estén obtenidos en ensayos que cubran todas las etapas de análisis.

Una forma de estimar la reproducibilidad intralaboratorio es utilizar muestras de control estables que cubran el procedimiento analítico completo en todo el intervalo de aplicación del mismo.

Si las variaciones de algunos componentes sistemáticos de incertidumbre dentro del laboratorio, como por ejemplo: reactivos diferentes, calibración del equipo, la deriva instrumental, etc, no están cubiertas dentro de la reproducibilidad, deberán tenerse en cuenta en el cálculo de la incertidumbre.

El sesgo del laboratorio se puede estimar a partir de:

- a) Materiales de referencia certificados (MRC)
- b) Resultados de ensayos de aptitud, si cubre todas las etapas del análisis
- c) Ensayos de recuperación con muestras adicionadas.

La incertidumbre combinada relativa asociada al análisis se puede calcular como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las componentes de incertidumbre, de acuerdo con la ecuación (E):

$$u_{\text{análisis}} = \sqrt{u_{\text{reprod.}}^2 + u_{\text{sesgo}}^2 + u_{\text{otros}}^2} \quad (E)$$

siendo:

- u_{reprod} la incertidumbre relativa asociada a la reproducibilidad,
- u_{sesgo} la incertidumbre relativa asociada al sesgo del laboratorio,
- u_{otros} la incertidumbre asociada a otras contribuciones analíticas no incluidas.

5. COMBINACIÓN DE LAS COMPONENTES DE LA INCERTIDUMBRE

Generalmente, la toma de muestra y el análisis se ejecutan por personas u organizaciones diferentes por lo que, para obtener estimaciones fiables de la incertidumbre de medida y utilizarlas adecuadamente, es recomendable una efectiva comunicación entre los implicados, ya que el destinatario de los resultados necesita la incertidumbre junto con el resultado para tomar decisiones correctas en la comparación con los valores límite de exposición a agentes químicos.

Combinando las etapas del procedimiento de medida, podemos calcular la incertidumbre asociada a la concentración de acuerdo con la ecuación (F):

$$u_{\text{c, conc}} = \sqrt{u_{\text{muestreo}}^2 + u_{\text{trans-alm.}}^2 + u_{\text{análisis}}^2} \quad (F)$$

6. INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

La incertidumbre expandida, U, se calcula multiplicando la incertidumbre típica combinada por factor de cobertura, k, de acuerdo con la ecuación (G):

$$U = k \times u_{\text{c, conc}} \quad (G)$$

Se recomienda utilizar un valor de $k=2$ para el factor de cobertura, que proporciona un nivel de confianza de aproximadamente el 95 %.

7. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

Se recomienda que la concentración del agente químico en aire se indique junto con su incertidumbre expandida, U, como:

$$C \text{ (mg/m}^3\text{)} \pm U \text{ (%) (k = 2)}$$

Conviene indicar el procedimiento utilizado para calcular la incertidumbre expandida y el factor de cobertura.

El valor numérico de la incertidumbre debe expresarse, como máximo, con dos cifras significativas. El valor numérico de la concentración del agente químico en el aire debe redondearse a la menor cifra significativa de la incertidumbre expandida en valor absoluto.

8. EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE LA CONCENTRACIÓN DE TOLUENO EN AIRE

En este apartado se muestra un ejemplo de cálculo de la incertidumbre asociada a la determinación de la concentración de tolueno en aire siguiendo las indicaciones dadas en el método de toma de muestra y análisis MTA / MA-030/R92, y utilizando los datos de validación.

La toma de muestra se lleva a cabo utilizando un tubo de carbón activo (100/50 mg) y una bomba de muestreo personal que cumple la norma UNE-EN 1232.

- Condiciones ambientales: HR = 48 % y T^a = 19 °C
- Caudal de muestreo: 194,4 ml/min (promedio de las seis lecturas cuyos resultados se indican en la tabla 1).
- Tiempo de muestreo: 25 minutos (medidor de tiempo incorporado en la bomba).
- Volumen de aire muestreado: 4,86 litros.

Caudal al inicio del muestreo (ml/min)	Caudal al final del muestreo (ml/min)
195,2	193,5
195,3	196,0
192,8	193,4

Tabla 1. Resultados de las lecturas de caudal

Una vez finalizado el muestreo, se remiten al laboratorio la muestra, el blanco de muestreo y seis tubos sin usar del mismo lote que los empleados en la toma de muestra para el cálculo de la recuperación analítica.

El laboratorio almacena las muestras refrigeradas y las analiza al cabo de seis días de acuerdo con el método analítico implementado en sus instalaciones. La recuperación analítica se calcula con muestras adicionales con 1 mg de tolueno siguiendo las indicaciones del método.

La masa de tolueno analizada y corregida con la re-

cuperación analítica es de 560 µg. La concentración de tolueno presente en el lugar de trabajo es:

$$C_{\text{tolueno}} = 115,2 \text{ mg/m}^3.$$

El valor límite ambiental de exposición diaria, VLA-ED, para el tolueno es de 192 mg/m³, por lo que la concentración se encuentra en el intervalo de 0,5 VL a 1 VL.

Cálculo de la incertidumbre asociada al muestreo

Caudal de muestreo

La incertidumbre típica asociada al caudal, en %, se calcula siguiendo las indicaciones del CR-04 y NTP 930 (tabla 2).

Tiempo de muestreo

El cronómetro incorporado en la bomba tiene desviación inferior a 1 %. La incertidumbre típica asociada al tiempo de muestreo, en %, se calcula asumiendo una distribución rectangular como:

$$u_t = \frac{\Delta t}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,58 \%$$

Funcionamiento del muestreador

La tabla 3 muestra la información contenida en el MTA necesaria para el cálculo de la incertidumbre asociada al funcionamiento del muestreador.

HR (%)	C _A	C _R (2)	R	CV (%)
82	803,08	779,45	0,971	1,08
82	434,67	431,08	0,992	1,34
82	218,02	217,27	0,997	1,87
82	44,11	42,50	0,963	1,65
10	751,06	731,30	0,974	1,66
10	434,67	430,42	0,990	1,11
10	203,05	196,16	0,966	1,51
10	42,16	40,23	0,954	1,17

C_A concentración generada en la atmósfera, en mg/m³.
 C_R concentración media recuperada, en mg/m³.
 R recuperación media del muestreo y análisis, expresada en tanto por uno.
 (2) el n° de muestras en cada ensayo ha sido seis, excepto en el caso de las concentraciones más bajas que ha sido cinco.

Tabla 3: Datos para el cálculo de la incertidumbre asociada al funcionamiento del muestreador

Certificado de calibración del medidor = 0,45 %
 Deriva del medidor = 0,65 %
 Medidas del caudal = 0,27 %
 Estabilidad del caudal = 2,13 %

$$u_Q = \sqrt{0,45^2 + 0,65^2 + 0,27^2 + 2,13^2} = 2,29 \%$$

Tabla 2. Cálculo de la incertidumbre típica asociada al caudal

La incertidumbre típica relativa asociada al funcionamiento del muestreador se calcula de acuerdo con la expresión (B).

$$u_{\text{factores}} = \sqrt{\left(\frac{S_{\text{medio}}}{k}\right)^2 + \left(1 + \frac{1}{N}\right)CV_{\text{media}}^2 + \left(1 + \frac{1}{n}\right)CV_{\text{comb.}}^2 + u_{\text{ref.}}^2}$$

La norma UNE – EN 1076:2010 indica las fórmulas de cálculo tanto del coeficiente de variación combinado como del nº de muestras, n, para números desiguales de muestras replicadas tabla 4).

$S_{\text{medio}} = 2,40 \%$	$[(R_{\text{media}} - 1) \times 100]$	$[R_{\text{media}} = \Sigma(R_i)/N]$
$k = 2$	para un nivel de confianza del 95 %	
$CV_{\text{media}} = 1,59 \%$	$N = 8$	Nº de ensayos
$CV_{\text{combinado}} = 1,43 \%$	$n = 6$	nº muestras por ensayo
$u_{\text{ref.}} = 3,00 \%$		

Tabla 4. Cálculo según la norma UNE – EN 1076:2010

$$u_{\text{factores}} = \sqrt{\left(\frac{2,40}{2}\right)^2 + \left(1 + \frac{1}{8}\right)(1,59)^2 + \left(1 - \frac{1}{6}\right)(1,43)^2 + 3^2 = 3,88 \%$$

Cálculo de la incertidumbre combinada asociada al muestreo

La incertidumbre típica combinada relativa asociada al muestreo se calcula de acuerdo con la ecuación (C) (tabla 5).

Fuente de incertidumbre	Incertidumbre (%)
Caudal de muestreo	2,29
Tiempo de muestreo	0,58
Factores de influencia	3,88
$u_{\text{muestreo}} = \sqrt{2,29^2 + 0,58^2 + 3,88^2} = 4,54 \%$	

Tabla 5. Cálculo de la incertidumbre combinada asociada al muestreo

Cálculo de la incertidumbre asociada al transporte y almacenamiento

Para estimar la incertidumbre asociada al transporte y almacenamiento se consideran los resultados correspondientes a los lotes 1 y 5 de la tabla “Estudio de la estabilidad de la muestra” del MTA.

Suponiendo una distribución rectangular, la incertidumbre típica asociada al almacenamiento de la muestra se calcula de acuerdo con la ecuación (D) (tabla 6).

Lote 1	$C_R = 830,76 \text{ mg/m}^3$	$ \Delta_{\text{Alm}} = 0,95 \%$	$u_{\text{Alm.}} = \frac{0,95}{\sqrt{3}} = 0,55 \%$
Lote 5	$C_R = 822,85 \text{ mg/m}^3$		

Tabla 6. Cálculo de la incertidumbre asociada al transporte y almacenamiento

Cálculo de la incertidumbre asociada al análisis

La incertidumbre típica combinada asociada al análisis se calcula como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las componentes de incertidumbre asociadas a la reproducibilidad intralaboratorio, al sesgo del laboratorio y a otros factores analíticos.

La reproducibilidad intralaboratorio se calcula utilizando, como muestras de control, tubos de carbón activo adicionados en el intervalo de 230 µg a 3800 µg de tolueno. Suponiendo una distribución normal, la incertidumbre asociada a la reproducibilidad intralaboratorio se calcula como el coeficiente de variación combinado (tabla 7).

Cantidad adicionada por muestra (µg)	Nº determinaciones por año	CV (%)
230	24	1,83
1070	24	1,87
3800	24	2,02
$u_{\text{reprod.}} = 1,91 \%$		

Tabla 7. Cálculo de la incertidumbre asociada a la reproducibilidad intralaboratorio

El sesgo del laboratorio se estima (tabla 8) a partir de los resultados obtenidos en la participación en pruebas interlaboratorio, de acuerdo con la expresión:

$$u_{\text{Sesgo}} = \sqrt{\left(\frac{S_{\text{medio}}}{k}\right)^2 + \frac{CV_{\text{media}}^2}{n} + u_{\text{Vd.}}^2}$$

$S_{\text{medio}} = 1,47 \%$	$k = 2$	$u_{\text{sesgo}} = 1,32 \%$
$CV_{\text{media}} = 2,11 \%$	$n = 9$ (Participaciones en 3 años)	
$u_{\text{Vd.}} = 0,84 \%$	Incertidumbre asociada al valor diana	

Tabla 8. Estimación del sesgo del laboratorio

La masa de tolueno analizada en la muestra se corrige con la recuperación analítica obtenida para el lote de tubos enviados junto con la muestra, por lo que la incertidumbre asociada a dicha corrección hay que tenerla en cuenta para el cálculo de la incertidumbre.

La incertidumbre típica combinada asociada al análisis se estima (tabla 9) de acuerdo con la ecuación (E).

Fuente de incertidumbre	Incertidumbre (%)
Reproducibilidad -intralaboratorio	1,91
Sesgo del laboratorio	1,32
Otros factores analíticos	1,08
$u_{\text{análisis}} = \sqrt{1,91^2 + 1,32^2 + 1,08^2} = 2,56 \%$	

Tabla 9. Estimación de la incertidumbre típica combinada asociada al análisis

Combinación de las componentes de incertidumbre

La incertidumbre típica combinada asociada al resultado de la concentración de tolueno en aire se obtiene (tabla 10) combinando las componentes de incertidumbre asociadas al procedimiento de medida, de acuerdo con la ecuación (F).

Fuente de incertidumbre	Incertidumbre (%)
Muestreo	4,54
Transporte y almacenamiento	0,55
Análisis	2,56
$u_{\text{concentración}} = \sqrt{4,54^2 + 0,55^2 + 2,56^2} = 5,24 \%$	

Tabla 10. Cálculo de la incertidumbre típica combinada

Expresión de los resultados

La incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95 % se obtiene multiplicando la incertidumbre combinada por un factor de cobertura de $k = 2$.

$$U = 10,48 \% (k = 2)$$

El resultado de la concentración de tolueno en aire se expresa como:

$$C_{\text{tolueno}} = 115,2 \text{ mg/m}^3 \pm 10 \% (k = 2)$$

De acuerdo con la norma UNE-EN 482:2007, la incertidumbre expandida para los procedimientos de medida (toma de muestra y análisis) en el intervalo de 0,5 VL a 1 VL debe ser $< 30 \%$.

El valor numérico de la concentración del agente químico en el aire debe redondearse a la menor cifra significativa de la incertidumbre expandida en valor absoluto. En este caso la incertidumbre expandida correspondiente a 115 mg/m^3 es de 12 mg/m^3 .

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo. BOE nº 104 01/05/2001.

Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. BOE nº 27 31/01/1997.

UNE-EN 482:2007 Atmósferas en el lugar de trabajo. Requisitos generales relativos al funcionamiento de los procedimientos para la medición de agentes químicos.

UNE-EN 1076:2010 Exposición en el lugar de Trabajo. Procedimiento de medida de gases y vapores que utilizan muestreadores por aspiración. Requisitos y métodos de ensayo.

UNE-EN 1232:1997 Atmósferas en el lugar de trabajo. Bombas para el muestreo personal de los agentes químicos. Requisitos y métodos de ensayo.

BREUER D, QUINTANA MJ, HOWE A.

Analytical Performance Criteria. Results of the EU Project Entitled "Analytical Methods for Chemical Agents" for the Evaluation of Methods for Analysis of Hazardous Substances in Workplace Air.

J. Occup. Environ. Hyg., 3:D126-D136. 2006.

COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN (CEN).

Project BC/CEN/ENTR/000/2002-16—Analytical Methods for Chemical Agents—Final Report.

Brussels: CEN. 2005.

EURACHEM. EURACHEM/CITAC

Guide CG 4. Quantifying uncertainty in analytical measurement (QUAM). 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

Métodos de Toma de Muestra y Análisis.

INSHT. Colección 1987 - 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO.

Límites de exposición profesional para agentes químicos en España.

INSHT. 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO.

Protocolo de validación para la determinación de gases y vapores orgánicos en aire mediante su captación en un adsorbente sólido utilizando un sistema activo. MTA/PV-I(2)/98.

INSHT. 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO).

Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM). 1993. [Versión en español: Centro Español de Metrología. Guía para la expresión de la incertidumbre de medida. 2000].

QUINTANA MJ, URIBE B, MONTES N.

Criterios y Recomendaciones. Determinación de la incertidumbre de medida de agente. Aspectos generales. CR-05/2009.

INSHT. 2010.

URIBE B, MONTES N, QUINTANA MJ.

Toma de muestras personal: determinación de la incertidumbre del volumen de aire muestreado. NTP 930.

INSHT. 2012

URIBE B, MONTES N, QUINTANA MJ.

Criterios y Recomendaciones. Incertidumbre de medida de gases y vapores. Parte 1 – Muestreo por aspiración y desorción con disolvente. CR-06/2009.

INSHT. 2010.

URIBE B, QUINTANA MJ.

Criterios y Recomendaciones. Bombas de muestreo personal para agentes químicos. CR-01/2006.

INSHT. 2007.

URIBE B, QUINTANA MJ.

Criterios y Recomendaciones. Determinación de la incertidumbre de medida de agente. Incertidumbre del volumen de aire muestreado. CR-04/2008.

INSHT. 2008.