

**PROTOCOLO DE VALIDACIÓN
DE LOS MÉTODOS DE MEDIDA DE GASES Y VAPORES
QUE UTILIZAN MUESTREADORES POR ASPIRACIÓN**

MTA/PV – I (3)/A13



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE EMPLEO
Y SEGURIDAD SOCIAL



INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO

Título:

Protocolo de validación de los métodos de medida de gases y vapores que utilizan muestreadores por aspiración

Organismos participantes en el Programa Nacional de Normalización de Métodos de Toma de Muestra y Análisis:

- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
- Centro Nacional de Condiciones de Trabajo - Barcelona
- Centro Nacional de Medios de Protección - Sevilla
- Centro Nacional de Nuevas Tecnologías - Madrid
- Centro Nacional de Verificación de Maquinaria - Vizcaya

Dirección y coordinación de la colección:

Centro Nacional de Verificación de Maquinaria - Vizcaya

Edita:

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
C/ Torrelaguna, 73 - 28027 MADRID

Composición:

Servicio de Ediciones y Publicaciones del INSHT

Edición:

Madrid, abril 2013

NIPO:

272-13-033-7

Catálogo general de publicaciones oficiales:

<http://publicacionesoficiales.boe.es>

Catálogo de publicaciones del INSHT:

<http://www.insht.es/catalogopublicaciones/>



PROTOCOLO DE VALIDACIÓN DE LOS MÉTODOS DE MEDIDA DE GASES Y VAPORES QUE UTILIZAN MUESTREADORES POR ASPIRACIÓN

Palabras clave: Gases, vapores orgánicos, aire, adsorbentes, muestreo por aspiración, validación.

INTRODUCCIÓN

La validación de un método de medida establece, mediante estudios sistemáticos de laboratorio, que las características de dicho método cumplen las especificaciones relativas al uso previsto de los resultados de medida. El proceso de validación permite el conocimiento de las características de funcionamiento del método y proporciona un alto grado de confianza en el mismo y en los resultados obtenidos al aplicarlo.

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Este protocolo especifica los requisitos generales de funcionamiento y los métodos de ensayo en condiciones de laboratorio, para la evaluación de los métodos de medida para la determinación de la concentración de gases y vapores en las atmósferas de los lugares de trabajo, y se aplica a todos los métodos de medida con etapas separadas de muestreo por aspiración en un adsorbente sólido y análisis de la sustancia recogida.

2 TÉRMINOS Y DEFINICIONES

En este protocolo se aplican los términos y definiciones establecidos en la norma EN 1540 y los que se dan a continuación:

Muestreador por aspiración

Dispositivo capaz de recoger gases y vapores del ambiente en un elemento de retención a través del cual el paso del aire es forzado por medio de una bomba.

Intervalo de medida

Intervalo de concentración para el que la incertidumbre de un método de medida está dentro de los límites especificados.

Concentración de referencia

Es el valor teórico de la concentración de la atmósfera calculado a partir de los parámetros de la misma.

Volumen de ruptura

Es el volumen de aire que puede pasar a través de la primera sección del tubo de muestreo, antes de que la concentración en el aire eluyente alcance el 5 % de la concentración de entrada.

Carga

Cantidad de agente químico recogida o adicionada en el elemento de retención.

Sesgo

Es la desviación del resultado obtenido aplicando un método de medida con respecto a la concentración de referencia.

Precisión

Es el grado de concordancia entre los resultados obtenidos aplicando el método repetidas veces, bajo condiciones determinadas.

Incertidumbre de medida

Parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de valores que podrían ser razonablemente atribuidos a la concentración de agente químico en aire.

Incertidumbre típica

Incertidumbre del resultado de una medición, expresada en forma de desviación típica.

Incertidumbre típica combinada

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 serie 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.

Incertidumbre expandida

Parámetro 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 a la concentración del agente químico en aire.

Factor de cobertura

Factor numérico utilizado como multiplicador de la incertidumbre típica combinada, para obtener la incertidumbre expandida.

3 REQUISITOS

Son los valores de las características de comportamiento exigibles a los procedimientos de medida. Los requisitos establecidos en el presente protocolo son:

3.1 Volumen de la muestra de aire

El volumen de muestreo recomendado no será superior a 2/3 del volumen de ruptura calculado según se describe en el apartado 5.1.

3.2 Condiciones de almacenamiento posterior al muestreo

Cuando las condiciones de almacenamiento se determinan conforme al apartado 5.5, el valor medio de la recuperación después del almacenamiento no debe diferir más del 10 % del valor previo al almacenamiento.

3.3 Recuperación analítica

Cuando se determina conforme al apartado 5.2, la recuperación analítica (RA) debe ser:

- RA ≥ 75 % con CV ≤ 10 % para cada carga (desorción con disolvente)
- RA ≥ 95 % con CV ≤ 10 % para cada carga (desorción térmica)

3.4 Incertidumbre expandida

La incertidumbre expandida debe cumplir los requisitos indicados en la siguiente tabla:

| Periodo de referencia | Intervalo de medida | Incertidumbre expandida relativa |
|------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Exposición de corta duración | 0,5 VLA-EC a 2 VLA-EC | ≤ 50 % |
| Exposición diaria | 0,1 VLA-ED a < 0,5 VLA-ED | ≤ 50 % |
| | 0,5 VLA-ED a 2 VLA-ED | ≤ 30 % |

3.5 Descripción del método de medida

Los métodos de medida se redactarán de acuerdo con la norma ISO 78-2. La descripción del método contendrá, al menos, la siguiente información:

- a) los agentes químicos y los intervalos de concentración a los que el método es aplicable.
- b) las características del muestreador.
- c) el caudal y el tiempo de muestreo recomendados.
- d) la técnica analítica.
- e) la calidad de los reactivos.
- f) los intervalos de condiciones ambientales (temperatura y humedad del aire), en los que el método es aplicable.
- g) el valor estimado de la incertidumbre expandida.

4 MATERIALES

4.1 Reactivos

Todos los reactivos deben ser, al menos, de calidad analítica, siempre que ello sea posible.

4.2 Aparatos

Los métodos de medida deben evaluarse bajo condiciones de laboratorio determinadas, para lo cual, además del material usual de laboratorio, deberán utilizarse otros instrumentos como los que se enumeran a continuación:

4.2.1 Un sistema dinámico de generación de concentraciones conocidas de un gas o vapor, basado en el uso de una jeringa, un tubo de permeación, una célula de difusión o cualquier técnica equivalente, incluyendo al menos:

- una cámara de exposición construida con materiales inertes tales como vidrio o politetrafluoroetileno (PTFE), a través de la que pasa la atmósfera de ensayo generada, de capacidad suficiente para albergar simultáneamente, al menos, seis muestreadores de ensayo.
- dispositivos para medir, controlar y variar el caudal a través de la cámara y la concentración, temperatura y humedad relativa de los gases de calibración.

4.2.2 Bombas de muestreo apropiadas que cumplan con los requisitos establecidos en la norma UNE- EN 1232.

4.2.3 Medidores de caudal calibrados, adecuados para trabajar en el intervalo de 10 ml/min a 2000 ml/min, con una incertidumbre de medida menor que ± 2 %.

4.2.4 Micropipetas o jeringas, para adicionar volúmenes conocidos de disoluciones patrón.

4.2.5 Instrumentos para analizar los gases, vapores o productos de reacción recogidos por el muestreador de ensayo.

5 ENSAYOS EN CONDICIONES DE LABORATORIO

Son pruebas realizadas en condiciones de laboratorio similares a la reales, que permiten conocer las características de funcionamiento del método y cuyos valores serán comparados con los requisitos exigidos en este protocolo (véase 3).

5.1 Ensayo del volumen de ruptura (eficacia de adsorción)

Se genera una atmósfera de ensayo a una concentración de 2 VLA del agente químico de interés, con una humedad relativa de $(80 \pm 5) \%$ y a una temperatura $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Para determinar el volumen de ruptura se hace pasar el aire procedente de la atmósfera de ensayo, a un caudal constante, a través de la primera sección de un tubo adsorbente conectado directamente o por medio de una válvula de inyección de gases apropiada, a un detector adecuado.

NOTA: La selección del caudal se basa en los conocimientos previos sobre la pérdida de carga a través del tubo adsorbente, el tiempo mínimo requerido para el muestreo y la capacidad esperada, basada en experiencias similares, por ejemplo:

20 ml/min para muestreadores para desorción térmica y 200 ml/min para desorción con disolvente.

Cuando el vapor comienza a emerger, el detector dará una señal que irá aumentando hasta alcanzar la concentración de entrada.

Si no es posible controlar la concentración de la sustancia de ensayo a la salida del muestreador, la elución se puede controlar utilizando otro muestreador colocado detrás del de ensayo que se cambia y analiza a intervalos regulares.

5.2 Determinación de la recuperación analítica

La recuperación analítica se determina a cuatro niveles de carga diferentes entre la menor y la mayor de las calculadas a partir de las siguientes condiciones de muestreo:

a) Concentración

- 1) Para el VLA-ED de exposición diaria: de 0,1 VLA-ED a 2 VLA-ED.
- 2) Para el VLA-EC de exposición corta: de 0,5 VLA-EC a 2 VLA-EC.

b) Tiempo

- 1) Para VLA-ED de exposición diaria: el tiempo de muestreo recomendado.
- 2) Para VLA-EC de exposición corta: el periodo de referencia.

c) Caudal: el caudal recomendado.

Para cada nivel de carga se añaden masas conocidas de analito al menos a seis muestreadores, utilizando una micropipeta o una jeringa. En caso de que sea necesario, se diluyen los analitos en un disolvente que no interfiera.

Se analizan las muestras y se calcula la recuperación analítica dividiendo la masa recuperada por la masa adicionada.

Para cada carga se calcula la recuperación analítica media y el coeficiente de variación de las muestras replicadas. Se compara con el requisito dado en 3.3, y, si no se cumple, se repite el ensayo cambiando de adsorbente o modificando las condiciones de desorción.

Si el requisito se cumple, se calcula la recuperación analítica media de todas las cargas y el coeficiente de variación de todas las muestras.

5.3 Ensayo de la influencia de la concentración de exposición

Se generan atmósferas de ensayo a concentraciones de 0,1 VLA-ED, 0,5 VLA-ED, 1 VLA-ED y 2 VLA-ED, humedad relativa de $(50 \pm 5) \%$ y temperatura de $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Por cada concentración generada se toman simultáneamente al menos seis muestras al caudal y tiempo de muestreo recomendados.

Para agentes químicos con valor límite de corta duración las concentraciones serán de 0,5 VLA-EC, 1 VLA-EC y 2 VLA-EC y el tiempo recomendado será menor o igual a 15 minutos.

Se analizan las muestras. Se calcula la concentración del agente químico correspondiente a cada muestra y se divide por la concentración de referencia de la atmósfera de ensayo para obtener la recuperación de cada muestra.

Para cada nivel de concentración ensayado, se calcula la recuperación media y el coeficiente de variación de las muestras replicadas.

Asimismo, se calcula la recuperación media de todos los niveles de concentración ensayados, el coeficiente de variación de todas las muestras y el coeficiente de variación de las recuperaciones medias.

5.4 Ensayo de la influencia de la humedad de la atmósfera de ensayo

Se generan atmósferas de ensayo a concentraciones de 0,1 VLA-ED y 2 VLA-ED, humedades relativas de $(20 \pm 5) \%$ y $(80 \pm 5) \%$ y temperatura de $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Por cada combinación de humedad y concentración se toman simultáneamente al menos seis muestras al caudal y tiempo recomendado, de acuerdo con el siguiente esquema:

| Humedad relativa % | Concentración | |
|-----------------------|---------------|----------|
| | 0,1 VLA-ED | 2 VLA-ED |
| 20 ± 5 | 6 | 6 |
| 80 ± 5 | 6 | 6 |

Para agentes químicos con valor límite de exposición corta las concentraciones serán de 0,5 VLA-EC y 2 VLA-EC y el tiempo recomendado será menor o igual a 15 minutos.

Se analizan las muestras. Se calcula la concentración del agente químico correspondiente a cada muestra y se divide por la concentración de referencia de la atmósfera de ensayo para obtener la recuperación de cada muestra.

Para cada combinación de exposición se calcula la recuperación media, y las diferencias, en %, entre las recuperaciones medias a las humedades relativas de 20 % y 80 %.

NOTA: Los valores de humedad relativa ensayados son orientativos. Si se conoce que los muestreadores se van a emplear en un rango más amplio o más restringido, dichos valores se pueden ajustar de acuerdo con ello.

5.5 Ensayo de estabilidad y conservación de las muestras

Se generan atmósferas de ensayo a concentraciones de 0,1 VLA-ED y 2 VLA-ED, humedad relativa de (80 ± 5) % y temperatura de (20 ± 2) °C. Por cada concentración ensayada se toman dos series de al menos seis muestras cada serie al caudal y tiempo de muestreo recomendados.

Las muestras se analizan de acuerdo con el esquema de tiempos indicado en la siguiente tabla:

| | 0,1 VL-ED | 2 VLA-ED |
|-----------------------|-----------|----------|
| Inmediato | 6 | 6 |
| 15 días (Tª ambiente) | 6 | 6 |

Para agentes químicos con valor límite de exposición corta las concentraciones serán de 0,5 VLA-EC y 2 VLA-EC y el tiempo recomendado será menor o igual a 15 minutos.

Se analizan las muestras. Se calcula la concentración del agente químico correspondiente a cada muestra. Para cada nivel de exposición ensayado se calcula la concentración media de cada serie, y la diferencia entre las medias, en porcentaje.

Se compara dicha diferencia con el requisito dado en 3.2, y, si es mayor del 10 %, se repite el ensayo con un tiempo de almacenamiento menor o utilizando condiciones de almacenamiento diferentes.

NOTA: Este ensayo puede realizarse conjuntamente con el descrito en el apartado 5.4.

5.6 Ensayo de la influencia de la temperatura de la atmósfera de ensayo

Se generan atmósferas a una concentración de 2 VLA, humedad relativa de (50 ± 5) % y temperaturas de (15 ± 2) °C y (30 ± 2) °C. Por cada temperatura ensayada se toma simultáneamente al menos 6 muestras al caudal y tiempo de muestreo recomendado.

Para agentes químicos con valor límite de exposición corta el tiempo recomendado será menor o igual a 15 minutos.

Se analizan las muestras. Se calcula la concentración del agente químico correspondiente a cada muestra y se divide por la concentración de referencia de la atmósfera de ensayo para obtener la recuperación de cada muestra.

Para cada temperatura ensayada se calcula la recuperación media, y la diferencia, en %, entre las recuperaciones medias a las temperaturas de 15 °C y 30 °C.

NOTA: Los valores de temperatura ensayados son orientativos. Si se conoce que los muestreadores se van a emplear en un rango más amplio o más restringido, dichos valores se pueden ajustar de acuerdo con ello.

6 INCERTIDUMBRE DE MEDIDA

A partir de la información obtenida de los apartados 5.1, 5.3, 5.4, 5.5 y 5.6 se estiman las componentes de la incertidumbre correspondientes siguiendo las indicaciones del anexo A. La incertidumbre de medida se obtiene combinando las componentes anteriores con las componentes no aleatorias asociadas a: volumen de muestreo, corrección de la recuperación analítica, preparación de la muestra, patrones de calibración analíticos, función de calibración y deriva instrumental, calculadas de acuerdo con lo establecido en los documentos Criterios y Recomendaciones CR-04 y CR-06 (8.7 y 8.8).

6.1 Cálculo de la incertidumbre típica combinada

Se calcula la incertidumbre típica combinada, expresada en porcentaje, por medio de la ecuación (1):

$$u_{c,conc} = \sqrt{(u_{EM}^2 + u_{Alm}^2 + u_r^2 + u_{HR}^2 + u_{Conc}^2) + (u_{Vol}^2 + u_{RA}^2 + u_{otras}^2)} \quad (1)$$

siendo:

u_{EM} la incertidumbre relativa asociada a la eficacia de muestreo,

- u_{Alm} la incertidumbre relativa asociada al efecto del almacenamiento,
- u_T la incertidumbre relativa asociada al efecto de la temperatura,
- u_{HR} la incertidumbre relativa asociada al efecto de la humedad relativa,
- u_{Con} la incertidumbre relativa asociada al efecto de la concentración,
- u_{Vol} la incertidumbre relativa asociada al volumen de muestreo,
- u_{RA} la incertidumbre relativa asociada a la corrección de la recuperación analítica,
- u_{otras} las incertidumbres relativas asociadas a la preparación de la muestra, patrones de calibración, etc.

6.2 Cálculo de la incertidumbre expandida

Se calcula la incertidumbre expandida del método de medida, U , utilizando como factor de cobertura un valor de $k = 2$, por medio de la ecuación (2).

$$U = 2 \times u_c \quad (2)$$

7 INFORME DEL ENSAYO DE VALIDACIÓN

El informe del ensayo debe incluir al menos la siguiente información:

- una referencia a este protocolo.
- la identificación completa de la atmósfera de ensayo.
- los resultados de validación obtenidos.
- los valores de las componentes de la incertidumbre.

8 BIBLIOGRAFÍA

8.1 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.

8.2 UNE-EN 482. **Atmósferas en el lugar de trabajo. Requisitos generales relativos al funcionamiento de los métodos para la medición de agentes químicos.**

8.3 UNE-EN 1076. **Exposición en el lugar de trabajo. Procedimientos de medida de gases y vapores que utilizan muestreadores por aspiración. Requisitos y métodos de ensayo.**

8.4 UNE-EN 1232. **Atmósferas en el lugar de trabajo. Bombas para muestreos personales de agentes químicos.**

8.5 UNE-EN 1540. **Exposición en el lugar de trabajo. Terminología.**

8.6 CR-04/2008. **Determinación de la Incertidumbre de medida de Agentes Químicos. Incertidumbre del volumen de aire muestreado.** Criterios y Recomendaciones. INSHT

8.7 CR-06/2009. **Determinación de la incertidumbre de medida de Agentes Químicos. Incertidumbre de medida de gases y vapores. Parte 1 - Muestreo activo y desorción con disolvente.** Criterios y Recomendaciones. INSHT.

8.8 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].

8.9 EURACHEM/CITAC Guide CG 4. **Quantifying uncertainty in analytical measurement (QUAM).** 2000.

8.10 Nordtest, **Handbook for calculation of measurement uncertainty in environmental laboratories,** Edición 2, Nordtest Technical Report No 537, Febrero 2004.

8.11 CEN Project BC/CEN/EN/TR/000/2002-16 - **Analytical Methods for Chemical Agents – Final Report.** Bruselas. CEN, 2005.

ANEXO A

Estimación de las Componentes de la Incertidumbre a partir de la Información de Validación

A.1 Incertidumbre asociada a la eficacia de muestreo, u_{EM}

En la validación de un método de medida, el valor del volumen de muestreo recomendado es inferior al volumen de ruptura determinado experimentalmente, por lo que se asume que la eficacia de muestreo es 100 % no siendo necesario tener en cuenta su incertidumbre.

A.2 Incertidumbre asociada a la influencia de la temperatura (u_T)

La incertidumbre asociada al efecto de la temperatura se estima a partir de los resultados obtenidos en el ensayo descrito en el apartado 5.6 de acuerdo con la ecuación (A.2):

$$u_T = \frac{|\Delta_T|}{\sqrt{3}} \quad (\text{A.2})$$

siendo:

$|\Delta_T|$ el valor absoluto de la diferencia entre las recuperaciones medias obtenidas en el ensayo a las temperaturas de 15 °C y 30 °C.

A.3 Incertidumbre asociada al efecto de la humedad (u_{HR})

La incertidumbre asociada al efecto de la humedad se estima a partir de los resultados obtenidos en el ensayo descrito en el apartado 5.4 de acuerdo con la ecuación (A.3):

$$u_{HR} = \frac{|\Delta_{HR}|}{\sqrt{3}} \quad (\text{A.3})$$

siendo:

$|\Delta_{HR}|$ el valor absoluto de la mayor de las diferencias entre las recuperaciones medias obtenidas en el ensayo a las humedades relativas de 20 % y 80 %.

A.4 Incertidumbre asociada al transporte y almacenamiento (u_{Alm})

La componente de la incertidumbre asociada al transporte y almacenamiento de la muestra se estima a partir de los resultados obtenidos en el ensayo descrito en el apartado 5.5 de acuerdo con la ecuación (A.4):

$$u_{Alm} = \frac{|\Delta_{Alm}|}{\sqrt{3}} \quad (\text{A.4})$$

donde:

$|\Delta_{Alm}|$ es el valor absoluto de la máxima diferencia entre las recuperaciones medias de los resultados de las muestras replicadas analizadas inmediatamente y después del periodo de almacenamiento.

A.5 Incertidumbre asociada al efecto de la concentración (u_{Conc})

El sesgo y la precisión del método de medida se estiman a partir de los resultados obtenidos en el ensayo descrito en el apartado 5.3 corregidos con la recuperación analítica.

Sesgo del método

La incertidumbre típica relativa asociada al sesgo del método viene dada por la ecuación (A.5):

$$u_s = \sqrt{\left(\frac{100 - R_{media}}{K}\right)^2 + \frac{CV_{réplicas}^2}{n} + u_{CR}^2} \tag{A.5}$$

siendo:

- R_{media} la recuperación media de todas las muestras, en %,
- k el factor de cobertura utilizado en el cálculo de la incertidumbre expandida,
- $CV_{réplicas}$ el coeficiente de variación de todas las muestras, en %,
- n el número de muestras,
- u_{CR} la incertidumbre típica relativa de la concentración de referencia, en %.

Para un sistema dinámico, se asume que la incertidumbre asociada a la concentración de referencia es 1,7 % (8.11).

Incluso cuando el sesgo del método sea cero, debe estimarse y tratarse como una componente de incertidumbre.

Precisión del método

La incertidumbre típica relativa asociada a la precisión del método viene dada por la ecuación (A.6):

$$u_{pm} = \sqrt{CV_m^2 + 1 - \frac{1}{n} CV_c^2} \tag{A.6}$$

siendo:

- CV_m el coeficiente de variación de las recuperaciones medias, en %,
- n el número de muestras replicadas por concentración, ecuación (A.7),
- CV_c el coeficiente de variación combinado de las muestras, en %, ecuación (A.8).

Para números desiguales de muestras replicadas n se puede estimar utilizando la ecuación (A.7):

$$n = \frac{N^2 - \sum_{j=1}^j n_j^2}{(j - 1) N} \text{ con } N = \sum_{j=1}^j n_j \tag{A.7}$$

donde:

- N es el número de muestras replicadas a todos los niveles de concentración,
- j es el número de niveles de concentración ensayados,
- n_j es el número de muestras replicadas al nivel de concentración j .

El coeficiente de variación combinado, CV_c , se puede estimar utilizando la ecuación (A.8):

$$CV_c = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) CV_1^2 + (n_2 - 1) CV_2^2 + (n_3 - 1) CV_3^2 + (n_4 - 1) CV_4^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1) + (n_3 - 1) + (n_4 - 1)}} \tag{A.8}$$

donde:

- $CV_1 \dots CV_4$ son los coeficientes de variación a las concentraciones ensayadas,
- $n_1 \dots n_4$ son los números de muestras replicadas a cada concentración de ensayo.

Cálculo de la incertidumbre asociada al efecto de la concentración

La incertidumbre asociada al efecto de la concentración se calcula a partir de la combinación de las componentes del sesgo y precisión del método de acuerdo con la ecuación (A.9):

$$u_{con.} = \sqrt{u_{sesgo-método}^2 + u_{precisión-método}^2} \tag{A.9}$$



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE EMPLEO
Y SEGURIDAD SOCIAL



INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO