

# Exposición laboral a agentes químicos: requisitos de los procedimientos de medición

*Exposition professionnelle aux agents chimiques: exigences des modes opératoires de mesurage*  
*Occupational exposure assessment to chemical agents: requirements of procedures for the measurement*

## Redactores:

Antonio Martí Veciana

*Ldo. en Ciencias Químicas y Farmacia*

Xavier Guardino Solá

*Dr. en Ciencias Químicas*

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

*En la presente Nota Técnica de Prevención, que sustituye a la NTP 583:2001, se exponen los aspectos más importantes de la nueva versión de la norma UNE-EN-482:2007 Atmósferas en el lugar de trabajo. Requisitos generales relativos al funcionamiento de los procedimientos de medición de contaminantes químicos.*

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

## 1. INTRODUCCIÓN

La norma UNE-EN-482: 2007, *Atmósferas en el lugar de trabajo. Requisitos generales relativos al funcionamiento de los procedimientos de medición de agentes químicos* especifica los requisitos generales de los procedimientos para la determinación de la concentración de los agentes químicos en los lugares de trabajo, es decir, el método analítico, aplicables a todo tipo de procedimiento, sea cual sea la naturaleza química o estado físico del agente, independientemente del método de toma de muestra y análisis empleado y a todo el proceso, incluyendo la toma de muestra, el transporte y el almacenamiento y el análisis y también a los equipos de lectura directa.

A continuación se revisa esta norma, ampliándose los aspectos de la misma que se consideran de interés, para disponer del conjunto de requerimientos necesarios para la correcta determinación de agentes químicos en aire.

## 2. DEFINICIONES

Se exponen las definiciones contenidas en la norma, algunas de las cuales se hallan también en la Nota Técnica de Prevención (NTP) 547, ya que son necesarias para la correcta interpretación de algunas cuestiones que se tratan más adelante. También se incluyen las de los Límites de Exposición Profesional (LEP) y las relacionadas con la clasificación de materia particulada por tamaño de partícula.

**Agente químico:** Todo elemento o compuesto químico, por sí sólo o mezclado, tal como se presenta en estado natural o como es producido, utilizado o vertido, incluido el vertido como residuo, en una actividad laboral, se haya elaborado o no de modo intencionado y se haya comercializado o no.

**Condiciones de repetibilidad:** Condiciones en las que los resultados de ensayo independientes se obtienen utilizando el mismo método, aplicado a muestras de ensayo idénticas, en el mismo laboratorio, por el mismo operador, utilizando el mismo equipo en intervalos de tiempo cortos.

**Condiciones de reproducibilidad:** Condiciones en las que los resultados se obtienen utilizando el mismo método, aplicado a muestras de ensayo idénticas, en diferentes

laboratorios, con diferentes operadores, utilizando equipos diferentes.

**Incertidumbre aleatoria:** Incertidumbre asociada a los errores aleatorios.

**Incertidumbre no aleatoria:** Incertidumbre asociada a los errores sistemáticos.

**Incertidumbre de la toma de muestra;  $u_s$ :** Incertidumbre combinada del procedimiento de toma de muestra incluyendo, cuando sea pertinente, las contribuciones de volumen de aire muestreado, de la eficacia de muestreo, del almacenamiento y del transporte de la muestra, cuando éste sea aplicable.

**Incertidumbre analítica;  $u_a$ :** Incertidumbre combinada del procedimiento analítico incluyendo, cuando sea apropiado, las contribuciones de la recuperación analítica, variabilidad analítica interferencias, calibración, deriva de respuesta del instrumento y corrección del blanco.

**Incertidumbre de medida:** Incertidumbre asociada al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de valores que podrían ser razonablemente atribuidos al mesurando.

**Incertidumbre típica:** Incertidumbre del resultado de una medición, expresado en forma de una desviación típica.

**Incertidumbre típica combinada;  $u_c$ :** 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 positiva de una suma de términos, siendo éstos las varianzas o covarianzas de estas otras magnitudes, ponderadas en función del resultado de la medida con la variación de dichas magnitudes.

**Factor de cobertura;  $k$ :** Factor numérico utilizado como multiplicador de la incertidumbre típica combinada para obtener la incertidumbre expandida. Los valores típicos del factor están entre 2 y 3.

**Incertidumbre expandida;  $U$ :** Cantidad 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 mesurando.

**Mesurando:** Magnitud particular sujeta a medición.

**Sesgo:** Desviación coherente del valor medido respecto del valor de la característica de la calidad del aire (con-

centración de un agente químico en el aire) o del valor de referencia aceptado (valor certificado de un material de referencia, la concentración de una atmósfera de ensayo patrón, o el valor diana de una comparación interlaboratorios).

**Tamaño de partícula:** La norma UNE-EN 481:1995 *Atmósferas en los puestos de trabajo. Definición de las fracciones por el tamaño de las partículas para la medición de aerosoles*, define el convenio para el muestreo como la especificación que debe alcanzar el instrumento de muestreo para cada una de las 5 fracciones de interés distintas en relación a su capacidad de penetración en el sistema respiratorio humano y que se relacionan a continuación. La representación gráfica de las fracciones inhalable, torácica y respirable, como porcentajes del aerosol total, se incluye en la figura 1.

- **Fracción inhalable:** La fracción másica del aerosol total que se inhala a través de la nariz y la boca.
- **Fracción extratorácica:** La fracción másica de las partículas inhaladas que no penetran más allá de la laringe.
- **Fracción torácica:** La fracción másica de las partículas inhaladas que penetran más allá de la laringe.
- **Fracción traqueobronquial:** La fracción másica de las partículas inhaladas que penetran más allá de la laringe, pero que no pueden penetrar en las vías respiratorias no ciliadas.
- **Fracción respirable:** La fracción másica de las partículas inhaladas que penetran en las vías respiratorias no ciliadas.

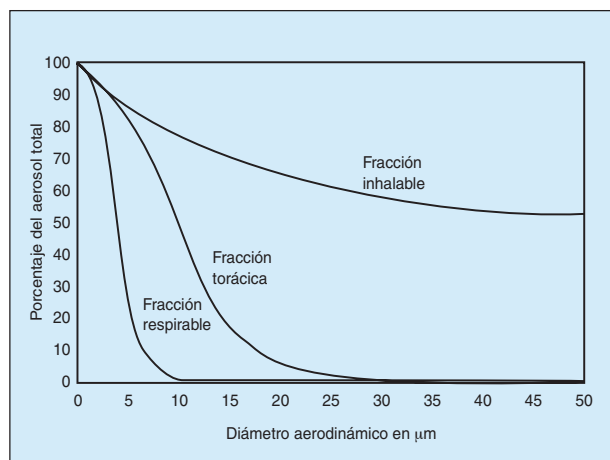


Figura 1. Convenio para las fracciones inhalable, torácica y respirable como porcentaje del aerosol total

**Tiempo de ponderación:** Periodo de tiempo para el que el procedimiento de medida proporciona un valor único.

**Valor límite de exposición laboral:** Límite de la medida ponderada en función del tiempo de la concentración de un agente químico en el aire en la zona de respiración del trabajador con relación al período de referencia especificado. Para mayor concreción, ver las definiciones de Valores LEP.

- La mayor parte están establecidos para periodos de referencia de 8 h, aunque también pueden establecerse para periodos más cortos o para desviaciones puntuales de la concentración.
- Los valores para gases y vapores se expresan en términos independientes de la temperatura y la presión del aire, en  $\text{ml/m}^3$  (ppm, V/V) y, en términos dependientes de estas variables en  $\text{mg/m}^3$ , para una temperatura de  $20^\circ\text{C}$  y una presión de 101,3 kPa.

- Los valores límite para la materia particulada están dados en  $\text{mg/m}^3$  o múltiplos para las condiciones ambientales reales (temperatura, presión) en el lugar de trabajo.
- Los valores límite para las fibras están dados en  $\text{fibras/m}^3$  o  $\text{fibras/cm}^3$  para las condiciones reales del lugar de trabajo.

El objetivo de emplear distintas unidades para distintos estados o formas de los agentes químicos en el aire es que expresen, de la manera más directa posible, su capacidad de efecto adverso. En el caso de las fibras, el efecto adverso está asociado al número de fibras inhaladas, por ello las unidades son  $\text{fibras/cm}^3$ . En los gases y vapores el efecto adverso está asociado al número de moléculas que penetran en el organismo, empleándose los ppm, ya que los ppm (v/v) son proporcionales al número de moléculas de gas o vapor presentes en el aire. En el caso de la materia particulada, este planteamiento (que implicaría emplear como unidad  $\text{mmoles/m}^3$ ) está muy supeditado por otros dos factores: el tamaño de la partícula y su solubilidad en agua.

**Valores LEP:** Son los límites de exposición profesional (LEP) para agentes químicos adoptados por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), publicados desde 1999 y recomendados para su aplicación en los lugares de trabajo por la Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (CNSST). Se definen los siguientes tipos de valores.

- **Valor límite ambiental - Exposición diaria (VLA-ED):** Es el valor de referencia para la Exposición Diaria (ED), definido como la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador medida, o calculada de forma ponderada con respecto al tiempo, para la jornada laboral real y referida a una jornada estándar de 8 horas diarias. Representan condiciones a las cuales se cree, basándose en los conocimientos actuales, que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos 8 horas diarias y 40 semanales, durante toda su vida laboral, sin sufrir efectos adversos para su salud. Este valor no debe ser superado en la exposición diaria. Cuando se trate de un agente químico con un periodo de inducción largo o bien existan variaciones sistemáticas entre distintas jornadas, puede resultar aceptable una valoración de base semanal.
- **Valor límite ambiental - Exposición de corta duración (VLA-EC):** Es el valor de referencia para la Exposición de Corta Duración (EC), definido como la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador, medida o calculada para cualquier periodo de 15 minutos a lo largo de la jornada laboral, excepto para aquellos agentes químicos para los que se especifique un periodo de referencia inferior, en la lista de Valores Límite. Este valor no debe ser superado por ninguna exposición corta a lo largo de la jornada laboral.

### 3. CLASIFICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN

Se clasifican en función del objeto de la medición a realizar, de acuerdo con la estrategia de medición expuesta en la norma UNE-EN-689: 1996. *Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de medición*, así como otros 2 escenarios, citados en la mencionada norma, que implican una combinación de estos diferentes objetos de las mediciones.

**Mediciones de evaluación inicial de la concentración media ponderada en el tiempo**

Son mediciones para obtener información cuantitativa aproximada sobre los niveles de exposición, para decidir si existe un problema de exposición y, en el caso de que exista, evaluar su posible gravedad. Pueden utilizarse también para determinar si la exposición está claramente por debajo o por encima del valor límite de exposición laboral.

**Mediciones de evaluación inicial de la concentración en el tiempo o en el espacio**

Se utilizan para:

- Proporcionar información sobre las probables pautas de la concentración de los agentes químicos en el aire.
- Identificar los lugares y periodos de exposición elevada.
- Proporcionar información sobre la localización e intensidad de las fuentes de emisión.
- Estimar la eficacia de la ventilación o de otras medidas técnicas.

**Mediciones de comparación con los valores límite de exposición laboral y mediciones periódicas**

Las medidas comparativas con los valores límite se utilizan para obtener resultados, de precisión y exactitud conocida, de la concentración media de un agente químico en el aire que puede ser inhalado por el trabajador.

Las mediciones periódicas se utilizan para determinar si las condiciones de exposición han cambiado desde su comparación con los valores límite o si las medidas de control continúan siendo eficaces. Dado que la composición de la atmósfera y las condiciones ambientales del lugar de trabajo habrán sido investigadas durante la evaluación de la exposición laboral, pueden ser adecuados, para las mediciones periódicas, procedimientos con menor selectividad.

**Anexo A Informativo de la Norma**

- *Mediciones en el caso más desfavorable.* Las mediciones para la evaluación aproximada en el tiempo y/ o en el espacio son capaces de identificar claramente los episodios en los que ocurren las exposiciones más altas, debidas, por ejemplo, a ciertas actividades laborales. Los periodos de toma de muestra pueden seleccionarse de manera que incluyan estos episodios, denominándose entonces muestreo en el caso más desfavorable, que, acotado en periodos de 15 minutos coincide con la determinación de exposiciones cortas (EC) indicadas en el documento *Límites de exposición profesional para Agentes Químicos en España del INSHT*.
- *Mediciones en un punto fijo.* Pueden ser utilizadas para comparar con los valores límite si los resultados son representativos de la concentración de exposición. En otras situaciones, la tarea inicial de medida es la misma que en el caso de las fuentes de emisión y el seguimiento posterior deberá consistir en mediciones de evaluación inicial de la concentración media ponderada en el tiempo o mediciones periódicas.

OBJETO DE LA MEDIDA	REQUISITOS DEL PROCEDIMIENTO DE MEDIDA
Evaluación inicial de la concentración ponderada en el tiempo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• selectividad adecuada al agente químico;</li> <li>• tiempo de muestreo menor o igual al periodo de referencia del VL;</li> <li>• un intervalo de medida que incluya el valor límite;</li> <li>• una incertidumbre expandida que se ajuste a la finalidad de la medición.</li> </ul>
Evaluación inicial de la concentración con el tiempo o en el espacio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• selectividad adecuada al agente químico;</li> <li>• un tiempo de muestreo corto (<math>\leq 5</math> min ó <math>\leq 15</math> min, según sean variaciones de la concentración en el tiempo o en el espacio);</li> <li>• un intervalo de medida que se ajuste al objeto de la medición;</li> <li>• una incertidumbre expandida que se ajuste a la finalidad de la medición.</li> </ul>
Mediciones de comparación con los valores límite y mediciones periódicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• no ambigüedad, en el intervalo de medida específico y en los resultados de la concentración del agente químico que se está midiendo;</li> <li>• selectivas, con información adecuada sobre la naturaleza y magnitud de cualquier interferencia;</li> <li>• tiempo de ponderación igual al tiempo de muestreo, que debe ser menor o igual al periodo de referencia del VL;</li> <li>• intervalo de medida que cubra de 0,1 a 2 veces el VL para medidas a largo plazo y de 0,5 a 2 veces el VL para las de corta duración;</li> <li>• los requisitos de la incertidumbre expandida que figuran en Tabla 2;</li> <li>• el transporte y el almacenamiento de las muestras, cuando sea apropiado, debe llevarse a cabo de modo que se mantenga la integridad física y química;</li> <li>• los efectos de las condiciones ambientales sobre el funcionamiento del método deben ser ensayadas en condiciones de laboratorio, mientras que los demás (ambigüedad, selectividad, incertidumbre, etc.) en las condiciones que sea probable encontrar en el lugar de trabajo.</li> <li>• los procedimientos de medida deben estar redactados según la Norma ISO 78-2, conteniendo toda la información necesaria para llevar a cabo el procedimiento de medida (ver NTP 547:2000);</li> <li>• el resultado final debe expresarse en las mismas unidades que el VL;</li> <li>• además deben cumplirse los requisitos adicionales, indicados en otras Normas, según el tipo de procedimiento y los equipos de medida.</li> </ul>

TABLA 1. Requisitos de funcionamiento de los procedimientos de medida

Periodo de referencia	Intervalo de medida	Incertidumbre expandida relativa
corta duración (p.e. 15 min)	0,5 a 2 veces el VL	≤ 50 %
larga duración	0,1 a < 0,5 veces el VL	≤ 50 %
larga duración	0,5 a 2 veces el VL	≤ 30 %

TABLA 2. Requisitos de la incertidumbre expandida para mediciones de comparación con los VL y mediciones periódicas.

<b>Volumen aire muestreado</b>	Muestreo activo (con bomba)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• medida del caudal (calibración del medidor de caudal y lectura del medidor)</li> <li>• estabilidad del caudal de la bomba.</li> <li>• tiempo de muestreo</li> </ul>
	Muestreo pasivo (por difusión)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• velocidad de captación</li> <li>• tiempo de muestreo</li> </ul>
<b>Eficacia de muestreo</b>	Métodos con bomba para gases y vapores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• influenciada por P, H, T del aire, la C y el caudal.</li> <li>• se puede estimar con los componentes de la recuperación del método</li> </ul>
	Métodos por difusión para vapores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• velocidad de captación y tiempo de muestreo</li> </ul>
	Métodos de muestreo de aerosoles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• incertidumbre muestreadores ensayados: varía según se determine en función del tamaño de partícula o por comparación con un muestreador de referencia (ver Anexos A y B, Norma UNE-EN 13205:2002)</li> </ul>
<b>Almacenamiento y transporte</b>	Almacenamiento de la muestra	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ensayos en el laboratorio (de inmediato y después del periodo máximo especificado en el método)</li> </ul>
	Transporte de la muestra	<ul style="list-style-type: none"> <li>• en el caso de los aerosoles asociada a pérdida de material</li> </ul>
<b>Recuperación analítica</b>	Para gases y vapores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• materiales de referencia certificados (CRM).</li> <li>• atmósferas de ensayo de gases</li> <li>• comparaciones interlaboratorios.</li> <li>• muestras de ensayo replicadas</li> </ul>
	Para partículas ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• materiales de referencia certificados (CRM) o compuestos puros</li> <li>• comparaciones interlaboratorios.</li> <li>• muestras de ensayo replicadas</li> </ul>
	Estimación datos de repetibilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• precisión analítica: patrones de calibración</li> <li>• concentración patrones de calibración</li> <li>• función de calibración (regresión lineal)</li> <li>• dilución disoluciones muestra (si se aplica)</li> <li>• deriva de respuesta del instrumento</li> </ul>
<b>Variabilidad analítica</b>	Estimación datos de reproducibilidad intralaboratorio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• varianza analítica</li> <li>• concentración de la disolución patrón.</li> <li>• dilución disoluciones muestra (si se aplica)</li> <li>• deriva de respuesta del instrumento.</li> <li>• sustracción del blanco (cuando se aplique)</li> </ul>

TABLA 3. Principales fuentes de incertidumbre - aleatoria y no aleatoria- para estimar o calcular la incertidumbre del método de medición

De este modo puede plantearse la estimación de la exposición de distintos trabajadores que ocupan un puesto físico de trabajo de manera consecutiva.

- **Mediciones de picos de corta duración.** Las mediciones de la evaluación inicial de la variación de la concentración en el tiempo pueden detectar picos de corta duración. Estas mediciones se pueden completar con mediciones de evaluación inicial de la concentración media ponderada en el tiempo y si se trata de mediciones de exposición, compararse con los valores límite de corta duración.

#### 4. REQUISITOS DE FUNCIONAMIENTO

Los requisitos de funcionamiento de los procedimientos para la medida de agentes químicos son más o menos rigurosos según cual sea el objeto de la medición. Ver Tabla 1.

#### 5. MÉTODOS DE ENSAYO

La incertidumbre expandida se estima a partir de los resultados obtenidos utilizando el procedimiento de medi-

da, de acuerdo con los ensayos descritos en las normas europeas específicas para el tipo de procedimiento o equipo.

Los métodos de ensayo para la comprobación previa de los procedimientos de medida se basan en distintos protocolos, entre los cuales los más conocidos son: en España, los del INSHT, y en Estados Unidos, los del National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH).

Se llevarán a cabo mediciones, como mínimo, a las concentraciones correspondientes a los límites inferior y superior del intervalo de medida específico (ver Tabla 2) y, al menos, a otra concentración intermedia. Deberá estudiarse la influencia de las interferencias y los parámetros ambientales, por ejemplo, la velocidad y la dirección del viento o la orientación del equipo de muestreo.

Para calcular la incertidumbre expandida, expresada en porcentaje, es necesario:

- Especificar el mesurando.
- Identificar todas las fuentes de incertidumbre posibles.
- Cuantificar la incertidumbre de la toma de muestra aleatoria ( $u_{sr}$ ) y la no aleatoria ( $u_{srr}$ )
- Cuantificar la incertidumbre analítica aleatoria ( $u_{ar}$ ) y la no aleatoria ( $u_{arr}$ )
- Calcular la incertidumbre típica combinada ( $u_c$ )
- Calcular la incertidumbre expandida ( $U$ ) (factor de cobertura  $k=2$ )

Cuando los procedimientos de medida consten de varias etapas independientes, una alternativa es ensayar individualmente cada una de ellas y calcular la incertidumbre expandida relativa del procedimiento de medida

combinando adecuadamente las incertidumbres de todas las etapas independientes.

En la Tabla 3 se resaltan las principales fuentes de incertidumbre, aleatoria y no aleatoria, asociadas a la toma de muestras y análisis, en la ejecución del procedimiento para la medida de agentes químicos en la atmósfera de los lugares de trabajo.

Para estimar o calcular la incertidumbre de cada uno de los componentes de la incertidumbre expandida consultar la Guía ENV 13005 y el Anexo C informativo de la propia Norma UNE-EN 472:2007 en el que se dan orientaciones y valores en función de las muchas variables que puede presentar el método de medición (por ejemplo: muestreo con bomba o muestreo pasivo, tipo de medidor de caudal y escala, método para gases y vapores, o aerosoles, tipo de recuperación analítica, variabilidad analítica, etc.).

## 6. INFORME DE VALIDACIÓN

Para cada procedimiento de medida ensayado se debe elaborar un informe de validación que incluya, como mínimo, las condiciones de ensayo, los resultados y el grado de conformidad del procedimiento con respecto a este documento y otras normas pertinentes, europeas o internacionales.

Debe consultarse los procedimientos de gestión de la calidad que se apliquen en el laboratorio, concretamente, la norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2005 "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración", que especifica con detalle, entre otros muchos aspectos, la composición adecuada del informe (analítico) del ensayo. Ver también la NTP 547.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) NORMA UNE-EN 481:1993. Atmósferas en los puestos de trabajo. Definición de las fracciones por el tamaño de las partículas para la medición de aerosol.
- (2) NORMA UNE-EN 689:1996. Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de medición.
- (3) NORMA UNE-EN 13205:2002. Atmósferas en el lugar de trabajo. Evaluación del funcionamiento de los instrumentos para la medición de concentraciones de aerosoles.
- (4) NORMA UNE-EN ISO/IEC 17025:2005. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.
- (5) NORMA UNE-EN 482:2007. Atmósferas en el lugar de trabajo. Requisitos generales relativos al funcionamiento de los procedimientos para la medida de agentes químicos.
- (6) ENV 13005:1999. Guía para la expresión de la incertidumbre en las medidas.
- (7) INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO  
**Límites de exposición profesional para Agentes Químicos en España.**  
*Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Madrid, 2008.*
- (8) INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO  
**Evaluación de riesgos por agentes químicos. El método analítico: aspectos básicos. NTP 547-2000.**
- (9) INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO.  
**Evaluación de riesgos por agentes químicos. Guía para la selección y utilización del método analítico. NTP 548-2000.**

- (10) INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO  
**Evaluación de riesgos por agentes químicos. Principales fuentes de métodos analíticos. NTP 637.**
- (11) INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO  
**Bombas de muestreo personal para agentes químicos (I): Recomendaciones para su uso y selección. NTP 777.**
- (12) INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO.  
**Bombas de muestreo personal para agentes químicos (II): verificación de las características técnicas. NTP 778.**