

NTP 587: Evaluación de la exposición a agentes químicos: condicionantes analíticos



Évaluation de l'exposition professionnelle aux agents chimiques. Conditions analytiques
Occupational exposure assessment to chemical agents. Analytical restraining conditions

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.

Redactores:

Xavier Guardino Solá
Dr. en Ciencias Químicas

Julio Ramos Albillo
Técnico Intermedio de Prevención

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

En la presente NTP se revisa el proceso de medición o toma de muestra de contaminantes, especialmente los aspectos relacionados con la tecnología a emplear (método analítico, lectura directa). Se exponen y revisan los condicionantes tecnológicos de las mediciones directas y toma de muestras, especialmente por lo que afecta a la elección del sistema de muestreo (activo, pasivo, personal, ambiental), y las características de la exposición, de la metodología disponible y del tipo de valoración a efectuar.

Introducción

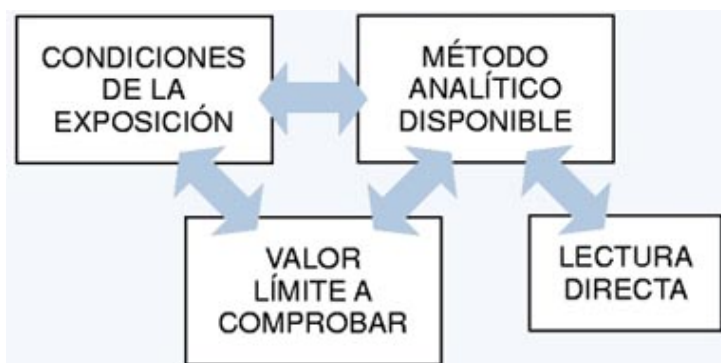
Antes de iniciar cualquier proceso de medición o toma de muestras de contaminantes ambientales, deben estar resueltas las respuestas a las preguntas características: ¿Qué? ¿Cómo? ¿Dónde? ¿Cuándo? La experiencia indica que el tiempo invertido en estas consideraciones previas tiene un especial rendimiento al optimizar de manera determinante la efectividad posterior de las medidas efectuadas.

La medición directa y, sobretudo la toma de muestras para su análisis posterior en el laboratorio, presenta dos tipos de condicionantes, tecnológicos y estratégicos. Los primeros son los relacionados con el instrumental empleado para la lectura directa y la toma de muestras y corresponderían a las preguntas: ¿Qué? y ¿Cómo?. Los condicionantes de estrategia (¿Dónde? ¿Cuándo?) son los que afectan la "representatividad" del resultado. Son los que permitirían contestar básicamente a las preguntas: ¿Se mide lo que se quiere medir? y ¿El resultado obtenido permite «opinar»? Son los propios condicionantes tecnológicos (del método analítico), el número de muestras a tomar, el número de trabajadores y de jornadas a muestrear, la duración del muestreo, las alternativas (una muestra larga o muchas muestras cortas), etc. Ver la NTP 553.

La adecuada combinación entre las características de la exposición, las del método analítico disponible y las del criterio de valoración a aplicar (ver la figura 1) es el punto de partida necesario para el éxito en la determinación de la exposición.

Figura 1

Relación entre las características de la exposición, las del método analítico disponible y las del criterio de valoración a aplicar



Qué medir

Debe recabarse información sobre los aspectos que se relacionan a continuación, ya que si no se sabe que se va a muestrear, es altamente improbable que se obtenga un resultado útil en la operación.

- Qué se compra, se vende, se forma.
- Conocimiento - experiencia en el proceso.
- Listado de productos empleados: etiquetado, FDS.
- Determinación previa de materias primas (cualitativo, cuantitativo).
- Determinación de mayoritarios o minoritarios (contaminantes).
- Función química a considerar.
- Gases, vapores. Posible de la coexistencia líquido - vapor.
- Aerosoles: polvo, humo, fibras, nieblas.
- Aerosoles: tamaño de partícula. Polvo total o fracción de polvo respirable.
- Mezclas.

Cómo medir

El procedimiento empleado para medir los contaminantes se describe en el correspondiente método analítico. Sin embargo, cabe recordar aquí las, sobre el papel al menos, amplias posibilidades de elegir: captación activa directa, captación activa por concentración, captación por difusión y lectura directa (que se trata en el apartado siguiente). En las NTP nº 19 a 24, 58 a 64, 110 a 118, 158, 170, 171, 184 y 286 se describen algunos procedimientos específicos y generales de toma de muestras.

Captación activa

Se denomina captación activa aquella que requiere de la utilización de un sistema activo, normalmente una bomba, encargado de vehicular el aire a través del captador o de llenar un recipiente inerte.

- *Muestreador (bomba)*

Dado que el objetivo habitual en higiene industrial es la obtención de muestras personales (en la zona respiratoria del trabajador), el equipo utilizado es una bomba de diafragma o pistón de bajo caudal, poco peso (máximo 1,2 kg), autonomía de funcionamiento (mínimo 2h, recomendable, 8 h) y margen de caudal relativamente limitado, regulado por un mecanismo de control constante o por número de emboladas. De acuerdo con este margen, y según la norma *UNE-EN 1232: 1997 Atmósferas en el lugar de trabajo. Bombas para el muestreo personal de los agentes químicos. Requisitos y métodos de ensayo*, se clasifican en dos tipos que se comentan a continuación. Por otro lado, como elementos comunes, las bombas deben disponer de: un sistema de sujeción para ser fijada a la persona, un indicador de funcionamiento defectuoso o un sistema de desconexión automático en caso de variación importante o interrupción de caudal, un fusible o jimitador de corriente y un ajuste de caudal no manipulable sin herramientas o apoyo externo.

Bombas tipo G. Son para muestreo personal de gases y vapores, con un margen de caudales entre 0,005 y 0,3 l/min e intervalo de pérdida de carga entre 0,01 y 10 kPa. Deben disponer de un control automático que mantenga el caudal volumétrico constante en el caso de un cambio en la pérdida de carga o un medio para determinar el volumen muestreado, como un contador de emboladas de la bomba.

Bombas tipo P. Son para el muestreo personal de materia particulada, con un margen de caudales entre 1 y 5 l/min e intervalo de pérdida de carga entre 0,1 y 6,25 kPa. Deben disponer de un control automático que mantenga el caudal volumétrico constante en el caso de un cambio en la pérdida de carga.

Están disponibles en el mercado bombas que cubren sobradamente todo el margen de caudales necesarios propuestos por los distintos métodos analíticos. Desde el punto de vista práctico, se agrupan en bombas de bajo caudal (< 0,5 l/min), alto caudal (> 0,5 l/min) y polivalentes que, con mecanismos de regulación adecuados, son capaces de cubrir un margen más amplio de caudales.

Las bombas personales son instrumentos delicados que requieren un buen mantenimiento preventivo. Aunque disponen de mecanismos de autorregulación del caudal, el procedimiento habitualmente recomendado en los métodos analíticos exige una calibración del conjunto bomba, captador y conexiones previa al muestreo y otra posterior para constatar que la diferencia de caudal es inferior al 5%.

Para muestreos ambientales se utilizan muestreadores de caudal más elevado (m³/h) y que no tienen, en principio, limitaciones de peso ni volumen. La norma *UNE-EN 12919: 2000 Atmósferas en lugar de trabajo. Bombas para el muestreo de los agentes químicos con un caudal volumétrico superior a 5 l/min*. Requisitos y métodos de ensayo establece cuáles deben ser sus características, así como las de las bombas personales capaces de suministrar caudales superiores a 5 l/min. Se emplea este tipo de muestreo para la determinación de polvo de algodón, con el elutriador vertical tipo Lynch, y para las subtilisinas (enzimas proteolíticas).

- *Captación activa directa*

La captación activa directa consiste en recoger una muestra del aire de interés para, sin ningún tratamiento, remitirla al laboratorio para su análisis. Para ello, se emplean distintos instrumentos como jeringas, "cannisters", tubos de toma de muestras o bolsas. Su principal condición es que puedan almacenar suficiente cantidad de aire y que sean completamente inertes frente al gas o vapor que se muestrea.

Los más utilizados son las bolsas inertes, de plástico, flexibles pero no elásticas. El modelo denominado de 5 capas, aluminizado, es el que presenta mayor fiabilidad. Disponen de válvula para llenado (normalmente empleando una bomba personal modificada para impulsión), vaciado y lavado, así como una pastilla (septum) para toma de muestras para inyección directa al cromatógrafo de gases. La principal ventaja es la facilidad de su utilización y los inconvenientes son: uso limitado a gases y vapores (no todos), la sensibilidad, reducida al no concentrarse el contaminante presente en el aire, y la contaminación residual. Es conveniente mantener un historial sobre su utilización que se limita a un escaso número de tomas de muestra.

- **Captación con filtros**

El contaminante presente en aire en forma de aerosol es retenido por un filtro, normalmente de 37 mm de diámetro y de un tamaño de poro entre 0,45 y 5 mm, y que puede estar compuesto de distintos materiales: ésteres de celulosa, fibra de vidrio, PVDF o PTFE, principalmente. El filtro se coloca sobre un soporte físico a base de celulosa y todo ello en un portafiltros de poliestireno, que se puede utilizar de distintas formas que se especifican en el correspondiente método analítico.

En aquellos casos en que se especifique el valor límite como polvo inhalable torácico o respirable (ver 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 aerosol* y la NTP 583) debe acoplarse al sistema un accesorio (ciclón, prefiltro, separador en cascada, elutriador, etc.), destinado a discriminar el polvo retenido en el filtro en base al convenio de polvo inhalable, respirable o torácico.

La utilización de filtros es sencilla y está limitada a aerosoles que no presenten evaporación ni sublimación.

- **Captación con soluciones absorbentes**

El contaminante presente en el aire, aspirado por una bomba, es retenido en una solución absorbente, que también pueden ser reactiva, es decir, que contenga un reactivo para fijar mediante reacción química al contaminante presente en el aire, que se coloca en un borboteador (borboteo a través de un tubo terminado en placa fritada) o impinger (borboteo a través de un tubo estrechado en el extremo) de los que se disponen 3 en serie: los dos primeros para captación del contaminante (la ausencia o presencia muy pequeña de contaminante en el segundo es un indicador de que, en principio, la retención en el primero ha sido correcta), y un tercero como trampa para evitar, en caso de vuelco, la llegada de líquido captador a la bomba.

Su utilización, reducida a algunos gases, vapores y aerosoles líquidos, es engorrosa y va siendo sustituida por otros procedimientos, muchos de ellos basados en la fijación (física o química) del líquido captador en un soporte sólido, empleándose entonces de manera equivalente a los tubos adsorbentes que se comentan a continuación.

- **Captación con sólidos adsorbentes**

El aire pasa a través de un tubo de vidrio relleno de materiales adsorbentes (carbón activo, polímero orgánico poroso, sílice, alúmina, etc.), a veces impregnados con un líquido absorbente o reactivo, procedimiento empleado para la progresiva sustitución de los borboteadores. El material destinado a retener al contaminante se halla dividido en dos secciones, denominadas frontal y posterior, por las que circula consecutivamente el aire aspirado por la bomba. La ausencia o muy pequeña presencia de contaminante en la parte posterior es indicativa, al igual que ocurría con los borboteadores, de que la captación ha sido correcta. Una de sus características fundamentales es el volumen de ruptura, que se define, para una determinada concentración de un contaminante en aire, como el volumen de aire que puede pasar por el tubo antes de que la concentración de vapor que sale del tubo alcance el 5% de la concentración ensayada. Ver la norma *UNE-EN 1076: 1997 Atmósferas en el lugar de trabajo. Tubos adsorbentes para la determinación de gases y vapores captados mediante bombeo. Requisitos y métodos de ensayo.*

Existe un número muy amplio de posibilidades en cuanto a adsorbente, tamaño y especificaciones, así como numerosos captadores específicos para determinados compuestos. La principal dificultad reside en las interferencias entre contaminantes captados, tanto por lo que se refiere a reacciones entre ellos, como desplazamiento de unos por otros. El tubo relleno con carbón activo es el sistema de captación por adsorción más empleado para vapores orgánicos, mientras que la utilización de tubos con soporte impregnado con un absorbente o reactivo es cada vez más amplia. También está muy extendida la utilización de tubos adsorbentes que permiten la recuperación del contaminante retenido por desorción térmica, ya que permiten trabajar con la totalidad del contaminante en lugar de una alícuota, como ocurre cuando la recuperación se lleva a cabo con una extracción líquido - sólido.

- **Combinaciones**

Cuando el contaminante se halla (o puede hallarse) presente en el aire en forma de vapor y aerosol, o bien interesa específicamente separar ambos muestreos, se emplean combinaciones de captadores, siendo las más corrientes filtro + borboteador y filtro + adsorbente impregnado.

Captación por difusión (pasiva)

Se denomina también "pasiva" por la ausencia de un caudal de aire vehiculado por una bomba. Se basan en el movimiento por difusión de un gas (contaminante) en el seno de otro (aire). Una explicación detallada los fundamentos, modo de utilización, limitaciones y ventajas e inconvenientes de este procedimiento de captación se halla expuesta en la NTP 151. Ver también la norma *UNE-EN 838: 1996 Atmósferas en el lugar de trabajo. Muestreadores pasivos por difusión para la determinación de gases y vapores. Requisitos y métodos de ensayo.*

El proceso de captación consiste en la fijación del contaminante por difusión en el captador. La concentración se calcula en base a la cantidad de contaminante determinada en el captador, el tiempo que ha durado el muestreo (nunca inferior a 30 min y recomendable a partir de 4 h) y un factor que representa la velocidad de captación por difusión (Sampling Rate, SR, en inglés), obtenido experimentalmente, y que depende del coeficiente de difusión del contaminante en aire y de la geometría del captador. Se usan para gases y vapores y cabe distinguir entre los de tipo general, como por ejemplo los de carbón activo (de los que existen distintos modelos), y los específicos, que se hallan disponibles para algunos contaminantes. Son recomendables para situaciones en las que no se producen variaciones importantes en la cantidad de contaminante presente en el aire y cuando la toma de muestras puede ocupar

varias horas, incluso días.

Transporte y conservación

En la tabla 1 se resumen las principales recomendaciones para el transporte y conservación de las muestras.

TABLA 1
Normas para el transporte y conservación de las muestras

- Precintar las muestras inmediatamente después de su captación.
- Empaquetar las muestras en contenedores adecuados para su transporte.
- Incluir en cada lote de muestras. Una muestra en blanco. (Muestra por la que no se ha hecho pasar aire)
- No colocar en el mismo contenedor muestras ambientales y muestras de materias primas o productos.
- No almacenar las muestras, enviarlas inmediatamente al laboratorio por el procedimiento más rápido posible.
- Una vez en el laboratorio conservarlas adecuadamente hasta el momento de su análisis.
- No abrir una muestra hasta el momento en que vaya a ser analizada.

Idoneidad del sistema elegido

En cada caso deberá considerarse la idoneidad del sistema escogido con el valor límite a comprobar y las características de la exposición. En las NTP 547 y NTP 548 se ha tratado ampliamente de los aspectos básicos, las características y los criterios a tener en cuenta en la elección de un método analítico. La elección del sistema y condiciones de muestreo, que vendrá fijada con pocas posibilidades de variación por el método analítico disponible, puede presentar diferentes desajustes con la realidad de la exposición y del criterio a aplicar, como los que se citan a continuación.

Importancia del límite de detección

Una de las características más importantes del método analítico es su límite de detección (ver la NTP 547). De manera general se puede afirmar que los métodos analíticos se diseñan y validan de tal manera que dicho límite sea suficientemente bajo para que permita al higienista obtener conclusiones válidas en el caso que el laboratorio dé por respuesta "No detectado; límite de detección \leq X". Sin embargo, cuando se produzcan desajustes entre el método analítico disponible y las condiciones de exposición o el valor límite, como las que se comentan más adelante, el conocer el límite de detección del laboratorio es fundamental para tomar la decisión de llevar a cabo el muestreo. Cabe recordar que la respuesta señalada anteriormente por parte del laboratorio significa que, aplicando la correspondiente parte del método analítico, aquél no ha detectado el producto objeto del análisis y, en consecuencia, se halla en la situación de afirmar que en la muestra puede haber una cantidad del producto igual o inferior a la señalada, expresada normalmente en masa por muestra en el caso de un método de toma de muestra por concentración. El higienista, en base a esta información, deberá deducir a qué concentración en aire corresponde el resultado del laboratorio, dividiéndolo por el volumen muestreado. El valor obtenido debe ser razonablemente inferior a la concentración de referencia, dependiendo del objeto de la medición.

- *Métodos con tiempos de muestreo más largos que la exposición a medir*

En este caso deberá adaptarse o modificarse el método disponible a las condiciones de exposición. Las posibilidades son básicamente dos.

- a. Tomar la muestra en las condiciones establecidas por el método, excepto en lo concerniente al tiempo de muestreo

En esta caso puede ocurrir que el límite de detección sea insuficiente para poder sacar conclusiones desde el punto de vista higiénico, ya que el método estará preparado y validado para un volumen de aire superior. Las opciones son dos: solicitar al laboratorio la posibilidad de una modificación del método de cara a obtener un límite de detección por muestra menor o bien aumentar el caudal del muestreo para compensar la disminución del tiempo previsto. Esta última solución es factible solamente si la bomba es capaz de superar la mayor pérdida de carga generada y el captador admite un mayor caudal sin que se pierda muestra detectable en la sección posterior de los tubos adsorbentes o en el 2º borboteador. Ello implicará realizar los correspondientes ensayos para comprobar la adecuación de las nuevas condiciones de muestreo.

- b. Tomar la muestra durante distintos periodos de exposición

Cuando la exposición se repita de forma continuada la solución es muestrear distintas operaciones o, si el trabajo es cíclico, ciclos de trabajo hasta el tiempo de muestreo fijado por el método, obteniéndose en este caso la concentración promedio de las distintas exposiciones medidas. Si la exposición es discontinua, también se puede muestrear continuamente, pero teniendo en cuenta que el resultado obtenido corresponderá a periodos de exposición y de no exposición, aspecto que habrá que considerar el hacer la valoración. Si el procedimiento lo permite, porque no hay riesgo de pérdida de muestra, también se puede detener el muestreo entre exposiciones y reanudarlo de nuevo al inicio de la nueva exposición y así sucesivamente hasta llegar también al tiempo de muestreo fijado por el método.

- *Métodos con tiempos de muestreo más largos que el patrón de exposición temporal a valorar*

Esta situación se produce frecuentemente cuando el objetivo de la medida son valores techo o valores para cortos periodos de exposición que requieren muestreos máximos de 15 minutos. Las soluciones a aplicar son las mismas que las que se han expuesto en el punto a) del apartado anterior.

- *Adecuación de la técnica analítica*

El procedimiento empleado para la obtención de la muestra debe ser adecuado para la técnica analítica a aplicar. Evidentemente, cuando se dispone de un método analítico normalizado no existe posibilidad de cometer errores en este sentido. Si, en cambio, la hay cuando se deben emplear procedimientos indagatorios o estrictamente experimentales de los que no se conoce a priori cual va a ser el procedimiento de análisis instrumental a aplicar.

Las técnicas analíticas dependen, fundamentalmente, de la naturaleza del contaminante pero también de las restantes circunstancias de la medida. La gran variedad de sustancias que pueden estar presentes en los ambientes laborales es causa de la utilización en higiene industrial de bastantes técnicas analíticas diferentes. El higienista debe conocer, aunque sea de manera somera, las características básicas de la técnica analítica que se va a aplicar. En la tabla 2 se listan las más utilizadas en higiene industrial

TABLA 2
Técnicas analíticas más utilizadas en Higiene Industrial

| |
|--|
| <p>TÉCNICAS CROMATOGRÁFICAS</p> <ul style="list-style-type: none">◦ • Cromatografía de gases (disolventes, compuestos orgánicos)◦ • Cromatografía líquida (compuestos orgánicos)◦ • Cromatografía iónica (aniones) <p>TÉCNICAS ESPECTROFOTOMÉTRICAS</p> <ul style="list-style-type: none">◦ • Absorción atómica (metales)◦ • UV-VIS (gases, pesticidas)◦ • Fluorimetría (aceites) <p>RAYOS X (difracción y fluorescencia) (minerales, metales)</p> <p>MICROSCOPIO ÓPTICA (fibras de amianto)</p> <p>TÉCNICAS ELECTROQUÍMICAS</p> <ul style="list-style-type: none">◦ • Electroodos específicos (cianuros, fluoruros)◦ • Voltametría de Redisolución Anódica (metales)◦ • Polarografía (metales, compuestos iónicos) <p>TÉCNICAS GRAVIMÉTRICAS (polvo, algodón)</p> |
|--|

- *Tiempo de respuesta del laboratorio*

El tiempo de respuesta del laboratorio es un aspecto a valorar. Evidentemente, dependerá del laboratorio, de su especialización y organización, pero el higienista debe conocerlo por la demora que le pueda representar en la evaluación de riesgos, aspecto que puede llegar a ser fundamental cuando se trate de productos u operaciones que puedan derivar en situaciones de riesgo elevado. Por otro lado, el método analítico fija el tiempo máximo de puede transcurrir desde la toma de muestras hasta su análisis.

- *Evaluación de costes*

El coste de cada determinación también debe ser conocido a priori por el higienista. Lo obtendrá a partir del tiempo empleado en recabar información (bibliográfica y en la empresa), en llevar a cabo las mediciones y en los desplazamientos; la amortización del material no fungible (bomba, calibrador), el consumo del material fungible (captador y accesorios) y el coste del análisis por el laboratorio. Téngase en cuenta que los actuales criterios aceptados para lograr una adecuada representatividad de las mediciones implican tanto el disponer de una información suficientemente amplia para poder afirmar que se trata de exposiciones repetitivas como en disponer de un número mínimo de determinaciones.

Características de los sistemas de lectura directa

Los métodos de lectura directa son aquellos en los que la toma de muestras y la determinación de la concentración es simultánea; son, por tanto, rápidos y la determinación es instantánea, por lo que permiten obtener datos precisos y puntuales con un coste relativamente bajo.

Según la norma *UNE 81-255: 1985 Instrumentos detectores o analizadores de contaminantes químicos presentes en la atmósfera. Clasificación*, se clasifican según:

- Campo de aplicación: específicos o polivalentes.
- Tipo de respuesta: orientativos o detectores, o de precisión o analizadores
- Forma de utilización: fijos o portátiles
- Continuidad de la medición: continuos o discontinuos
- Situación del sensor: próximos o remotos
- Fuente de alimentación de energía: autónomos o no autónomos

Otro aspecto importante a valorar es si trabajan de forma activa, haciendo pasar aire por el detector mediante una bomba o de forma

pasiva, basándose en el principio de la difusión comentado anteriormente.

Por su interés específico en el campo de la higiene industrial se comentan a continuación los instrumentos colorimétricos y los monitores específicos.

Instrumentos colorimétricos

Los instrumentos colorimétricos son sencillos, fáciles de utilizar y cubren una amplia gama de contaminantes. Son dispositivos que se basan en el cambio de color que sufre un reactivo específico al reaccionar con un contaminante determinado. Existen tres tipos de dispositivos colorimétricos de lectura directa: papeles reactivos, líquidos reactivos, y tubos indicadores con reactivo sólido, aunque también se presentan combinaciones de todos ellos.

- *Tubos indicadores con reactivo sólido (tubos colorimétricos)*

Son los más utilizados y se emplean acoplados a bombas de aspiración manual de tipo émbolo o fuelle principalmente. Consisten en tubos de vidrio conteniendo un soporte inerte granulado impregnado con un reactivo químico capaz de reaccionar con el contaminante a determinar, cambiando de color. El aire contaminado se hace penetrar en el tubo y se produce un cambio de color que se inicia en el extremo de entrada y progresa a lo largo del tubo en función de la concentración de contaminante presente. Sobre la pared del tubo está impresa una escala en la cual, para un volumen determinado de aire muestreado, el frente de la zona coloreada señala la medida de la concentración. Aunque la aplicación principal de estos tubos se centra en la obtención de valores de las concentraciones de aire correspondientes a periodos de corta duración, están disponibles tubos para su utilización en muestreos de larga duración acoplados a bombas automáticas de aspiración (muestreadores personales), que permiten obtener concentraciones medias durante la jornada laboral o ciclos de trabajo determinados.

Pueden determinarse más de cien contaminantes diferentes con tubos colorimétricos específicos existentes en el mercado. Sus limitaciones más importantes, que deben ser tenidas en cuenta a la hora de su utilización en la valoración del riesgo higiénico, son:

- La precisión de los tubos es muy variable, ya que está en función en gran medida de la técnica de fabricación. Según la norma UNE-EN 1231: 1997 Atmósferas en el lugar de trabajo. Sistemas de medición por tubos detectores de corta duración. Requisitos y métodos de ensayo, su incertidumbre global relativa debe ser $\leq 50\%$ hasta el 20% del intervalo de medida específico y $\leq 30\%$ para el resto del intervalo.
- Frecuentemente carecen de especificidad suficiente y la presencia de otros contaminantes es susceptible de alterar la extensión y el color de la capa coloreada.
- Las bajas temperaturas provocan variaciones de color, mientras que las temperaturas altas pueden afectar el volumen muestreado proporcionando resultados erróneos.
- Los errores sistemáticos en su utilización pueden tener su origen en:
 - Error de calibración del fabricante.
 - Variaciones en las condiciones de almacenamiento de los tubos. En la mayoría de los casos se recomienda una temperatura de almacenaje inferior a los 30 °C.
 - Disminución de la hermeticidad en la bomba de aspiración.
 - Obturación de los canales de aspiración.

Las recomendaciones básicas para su utilización son:

- Comprobar periódicamente el volumen de aspiración de la bomba.
- Limpiar los canales de aspiración.
- Tener siempre en cuenta las especificaciones del fabricante, atendiendo estrictamente las condiciones de uso incluidas en el folleto.

Monitores específicos

Son aparatos que proporcionan una lectura electrónica prácticamente instantánea de la concentración del contaminante.

- *Monitores para gases y vapores*

Los principios físicos para la detección cuantitativa en los que se basan las mediciones efectuadas con este tipo de aparatos pueden dividirse en cinco grupos:

- **Eléctricos.** Las propiedades físicas y/o químicas del gas en cuestión introducen cambios en los parámetros eléctricos de un sensor, por ejemplo en la resistividad de un filamento, de forma que los valores de salida son proporcionales a la concentración de gas medida.
- **Térmicos.** Detectan las variaciones en las propiedades térmicas de los gases; conductividad de la mezcla o temperatura de combustión. Este es el principio de aplicación en la construcción de explosímetros, aparatos de alarma en atmósferas combustibles y medidores de niveles de oxígeno.
- **Electromagnéticos.** La energía electromagnética, en forma de radiación UV, VIS e IR, se absorbe por el medio contaminado a frecuencias características del contaminante y con intensidad dependiente de su concentración. El caso más empleado es la radiación IR para la determinación de dióxido de carbono.
- **Quimioelectromagnéticos.** Se basan en el análisis de un gas en el que se produce una reacción química acompañada de una radiación electromagnética, que es la que se mide. Por su especificidad son los más utilizados actualmente,

tratándose normalmente de una célula electroquímica específica para cada gas o vapor.

- **Espectroscopios fotoacústicos.** Se basan en la medición de la onda acústica generada por un gas cuando absorbe luz modulada. La longitud de onda de la luz determina de qué gas se trata, mientras que la magnitud de la absorción, medida como aumento de presión periódica (onda acústica), consecuencia de un aumento presión por aumento de temperatura, medida por un micrófono, es proporcional a la concentración del gas.

La precisión de este instrumental viene determinada por el fabricante, y su utilización exige, por otra parte, calibraciones periódicas por medio de atmósferas o mezclas de gases de composición controlada. Estas calibraciones pueden ser llevadas a cabo por el propio usuario, o por el fabricante o un organismo competente, en cuyo caso es importante que se disponga del correspondiente certificado a efectos de aseguramiento de la calidad en la determinación.

El mercado ofrece gran diversificación en este tipo de instrumental, cuyo uso ha aumentado con la extensión de las células electroquímicas específicas y, sobretodo, por la posibilidad de almacenamiento informático de los datos, lo que permite su posterior tratamiento hasta límites insospechados. Disponer de un monitor específico permite, sin ningún es fuerza, obtener una descripción la variación de la concentración a lo largo del tiempo de manera casi puntual, con todas las ventajas que ello representa de cara una descripción completa de la exposición para su posterior comparación con el criterio de valoración a aplicar.

- **Monitores para aerosoles**

Con respecto a la medición directa de aerosoles pueden distinguirse dos grupos instrumentales principales:

- **Instrumentos ópticos.** Fundamentados en propiedades ópticas de una partícula o de un conjunto de partículas. Los más simples, aplicables a grandes concentraciones ambientales, miden la extinción de la luz al aerosol. Si la concentración no es suficiente elevada, se utiliza el método de la dispersión de la luz. Dentro de este tipo se encuentran los instrumentos para la medición de conjuntos de partículas o de partículas con fuente de luz visible, fotómetros con fuente de rayos láser, reflectómetros y equipos de emisión espectral.
- **Instrumentos eléctricos.** Se basan en la interacción partícula - carga eléctrica. Existen dos tipos de instrumentos. En el primero de ellos, las partículas adquieren una carga eléctrica proporcional a su tamaño al pasar a través de una nube de iones, siendo esta carga la que se mide. En el segundo tipo, se mide la interceptación de un haz de iones o emisión radioactiva debido a la presencia del aerosol.

- **Proceso de elección y adquisición de un monitor**

Debe tenerse especial cuidado en su adquisición valorando aspectos como los recogidos en la en la tabla 3.

La experiencia demuestra que la adquisición y utilización rentable de un monitor de lectura "continua" es especialmente complicada. El repaso a los aspectos citados en la tabla 3 es fundamental de cara a poder disponer de un aparato fiable y rentable en la medida de lo posible.

TABLA 3
Sistemas de lectura directa. Características a contemplar

1. Para qué sirve.
2. Posibilidades.
3. Fundamento físico/químico/electrónico de la medida.
4. Tipo de captación del contaminante: activa o pasiva.
5. Posibilidad de utilización como lector personal.
6. Intervalo (frecuencia) de lectura.
7. Requisitos ambientales.
8. Facilidad de lectura.
9. Posibilidad de tratamiento estadístico de las lecturas.
10. Alimentación energética.
11. Especificidad.
12. Interferencias.
13. Sensibilidad. Límite de detección.
14. Sensibilidad. Resolución.
15. Intervalo de trabajo.
16. Precio.
17. Garantía.
18. Mantenimiento: coste y facilidad.
19. Asistencia técnica.
20. Disponibilidad de recambios.
21. Dirección (útil) del fabricante y del distribuidor.
22. Fiabilidad comercial.
23. Cálculo del coste de cada determinación.

Dónde medir

En higiene industrial, cuando se trata de medir la exposición de un trabajador por vía respiratoria, se suele exigir que la muestra sea personal, es decir, tomada en el área respiratoria del trabajador. Otras alternativas son: el puesto de trabajo, el punto de emisión y ambiental (puntual, general, automatizada). Ver la NTP 553.

Cuándo medir

Sobre el papel, la determinación de la exposición a un contaminante requiere una medida continua durante toda la jornada laboral o durante todo el tiempo que dure la exposición. Dado que ello es irrealizable en la mayor parte de los casos, el cuándo efectuar la medida vendrá dado por la estrategia de muestreo escogida, aspecto que no se trata aquí (ver la norma UNE 689 y las NTP 406, 407, 553, 554 y 555). Las posibilidades son: ciclo de trabajo, grupos de exposición homogénea, discontinua (periódica, aperiódica y aleatoria), según el patrón temporal del Criterio de Valoración, y en las condiciones más desfavorables.

Bibliografía

1. Martí, Antonio (coordinador). Análisis de contaminantes químicos en aire INSHT, Madrid, 1991.
2. Norma UNE 81-255: 1985 Instrumentos detectores o analizadores de contaminantes químicos presentes en la atmósfera. Clasificación
3. 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 aerosol.
4. Norma UNE-EN-482: 1995 Requisitos generales relativos al funcionamiento de los procedimientos de medición de contaminantes químicos.
5. Norma UNE-EN: 838: 1996 Atmósferas en el lugar de trabajo. Muestreadores pasivos por difusión para la determinación de gases y vapores. Requisitos y métodos de ensayo.
6. Norma UNE-EN 1076:1997 Atmósferas en el lugar de trabajo. Tubos adsorbentes para la determinación de gases y vapores captados mediante bombeo. Requisitos y métodos de ensayo.
7. Norma UNE-EN: 1231: 1997 Atmósferas en el lugar de trabajo. Sistemas de medición por tubos detectores de corta duración. Requisitos y métodos de ensayo.
8. Norma UNE-EN 1232: 1997 Atmósferas en el lugar de trabajo. Bombas para el muestreo personal de los agentes químicos. Requisitos y métodos de ensayo.
9. Norma UNE-EN 12919: 2000 Atmósferas en lugar de trabajo. Bombas para el muestreo de los agentes químicos con un caudal volumétrico superior a 5 l/min. Requisitos y métodos de ensayo