

Determinación de vapores orgánicos en aire - Método de adsorción en carbón activo / Cromatografía de gases

MTA/MA-032/A98

Palabras clave: vapores orgánicos, aire, cromatografía de gases

PRESENTACIÓN

La Exposición laboral a Vapores Orgánicos tiene como origen principal la utilización de los Disolventes Industriales. Los disolventes orgánicos están formados por uno o más compuestos de naturaleza orgánica en estado líquido que generalmente son muy volátiles. Estos disolventes se emplean principalmente para disolver sustancias poco polares, insolubles en disolventes acuosos, como pinturas, barnices, lacas, resinas, pegamentos, colas y adhesivos, polímeros, pesticidas, tintas de impresión, etc., así como en procesos de limpieza y extracción con disolvente y como materia prima en la industria de síntesis orgánica. Por estas razones, resulta de interés disponer de un método ensayado y validado para la determinación de vapores orgánicos en aire, con el fin de poder evaluar la exposición laboral a estos compuestos.

Este Método Analítico se fundamenta en distintos procedimientos de análisis correspondientes a las diferentes familias orgánicas a las que pertenecen los distintos tipos de compuestos incluidos en su campo de aplicación.

El método "*Determinación de Vapores Orgánicos en aire - Método de adsorción en carbón activo/Cromatografía de gases*" es un **MÉTODO ACEPTADO** por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Como **MÉTODO ACEPTADO** se entiende un método utilizado en el INSHT y que ha sido sometido a un protocolo de validación por organizaciones oficiales competentes en el área de la normalización de métodos analíticos, o bien ha sido adoptado como método recomendado por asociaciones profesionales dedicadas al estudio y evaluación de riesgos por agentes químicos, así como aquellos métodos recomendados por la UE o basados en métodos ampliamente conocidos y evaluados por especialistas en este tipo de análisis.

Índice

1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

2. DEFINICIÓN

3. FUNDAMENTO DEL MÉTODO

4. REACTIVOS Y PRODUCTOS

4.1. Gases

4.2. Reactivos

4.3. Disoluciones

5. APARATOS Y MATERIAL

5.1. Aparatos y material para la toma de muestra

5.2. Aparatos y material para el análisis

6. TOMA DE MUESTRA

7. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

7.1. Preparación de muestras y blancos

7.2. Calibración

7.3. Análisis cromatográfico

7.4. Determinación de la eficacia de desorción

8. CÁLCULOS

8.1. Cálculo de la eficacia de desorción

8.2. Determinación de la concentración de analito presente en la disolución de desorción

8.3. Determinación de la cantidad de analito presente en la muestra

8.4. Determinación de la concentración de analito en aire

9. PRECISIÓN

10. BIBLIOGRAFÍA

ANEXO A

ANEXO B

ANEXO C

1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Se describen en este método el procedimiento a seguir y el equipo necesario para la captación en tubo de carbón activo y análisis por cromatografía de gases, de vapores orgánicos en aire de ambientes laborales en un intervalo de concentración global de 3 mg/m³ a 3000 mg/m³ que, como mínimo, representa, para los diferentes compuestos individuales incluidos en el campo de aplicación de este método, un intervalo de 0,1 a 2 veces sus respectivos Valores Límite (10.1.-10.6.).

Sin embargo, este procedimiento de análisis puede ser también útil en intervalos de concentraciones mayores que los anteriores. En cualquier caso, el límite superior del intervalo útil depende de la capacidad de adsorción del carbón utilizado, que se establece en función del volumen de ruptura (véase apartado 2 y tabla 1 del anexo A), el cual no debe excederse durante el muestreo.

El límite inferior del intervalo útil depende de una serie de factores tales como: nivel de ruido del detector, blancos de la muestra y reactivos, eficacia de desorción e interferencias en el análisis cromatográfico.

El método de análisis es útil para la determinación de compuestos pertenecientes a las siguientes familias orgánicas: hidrocarburos alifáticos, aromáticos y clorados, ésteres y alcoholes (excepto metanol), todos ellos compatibles con toma de muestra en tubo de carbón activo y con el uso total o parcial de sulfuro de carbono como disolvente de desorción (10.1.-10.6.). No es aplicable a la determinación de otros compuestos, principalmente de naturaleza fuertemente polar, por requerir en algunos casos como aminas (10.7.), fenol (10.8.), etc., el empleo de adsorbentes polares (gel de sílice), o en otros casos, como por ejemplo los éteres de glicoles, de disolventes de desorción diferentes al sulfuro de carbono (10.9.). Asimismo., este procedimiento de análisis no es útil para la determinación de cetonas en aire por la manifiesta inestabilidad de este tipo de compuestos orgánicos en carbón activo (10.10.).

Este método de análisis se ha desarrollado para determinar concentraciones medias ponderadas en el tiempo de compuestos orgánicos volátiles en aire, mediante la utilización de equipos de toma de muestras de bajo caudal, tanto para muestreos personales como en lugares fijos. No puede ser utilizado para medir concentraciones instantáneas o fluctuaciones de concentración en periodos cortos de tiempo.

Puede por tanto ser utilizado con el objeto de realizar mediciones para comparar con los valores límite y mediciones periódicas (4.5. y 4.6. de UNE EN 482), (10.11.). También podría utilizarse para realizar mediciones para la evaluación aproximada de la concentración media ponderada en el tiempo (4.2. de UNE EN 482) aunque los requisitos para estas mediciones son muy inferiores, en cuanto al grado de exigencia, a los que proporciona este método.

Se considera como interferencia cualquier otro compuesto orgánico, que presente el mismo o próximo tiempo de retención que los compuestos a analizar, en las condiciones de operación descritas en este método. Estas interferencias pueden minimizarse seleccionando las condiciones y columnas cromatográficas adecuadas.

Otra interferencia a tener en cuenta es la humedad que influye negativamente en la recuperación de los alcoholes del carbón activo (10.6.).

2. DEFINICIÓN



El volumen de ruptura del tubo de carbón es el volumen de aire contaminado que puede pasarse a través de la primera sección del tubo, antes de que la concentración del contaminante en el aire eluyente alcance el 5% de la concentración de entrada.

3. FUNDAMENTO DEL MÉTODO

La muestra se recoge haciendo pasar una cantidad conocida de aire a través de un tubo relleno de carbón activo, mediante una bomba de muestreo personal, quedando los vapores orgánicos adsorbidos sobre el carbón. Posteriormente se desorben con sulfuro de carbono o una solución que contiene el 5% (V/V) de 2-butanol en sulfuro de carbono y se analiza la disolución resultante en un cromatógrafo de gases equipado con detector de ionización de llama.

Se obtienen las áreas de los picos de los analitos de interés y del patrón interno, determinando la cantidad presente en la muestra.

A partir de la masa de los analitos presentes en la muestra se obtienen las concentraciones ambientales.

4. REACTIVOS Y PRODUCTOS

4.1. Gases

4.1.1. Nitrógeno purificado

4.1.2. Hidrógeno purificado

4.1.3. Aire sintético puro

4.2. Reactivos

Todos los reactivos deben ser de calidad analítica.

4.2.1. Patrones de referencia de los analitos, de calidad cromatográfica

4.2.2. n-Propilbenceno (patrón interno)

NOTA: SUSTANCIA IRRITANTE. Frases (R): 10-37. Frases (S): (2). [Real Decreto 363/1995 \(10.12.\)](#).

4.2.3. 2-Butanol

NOTA: SUSTANCIA NOCIVA. Frases (R): 10-20. Frases (S): (2)-16. [Real Decreto 363/1995 \(10.12.\)](#).

4.2.4. Sulfuro de carbono: debe estar exento de compuestos que coeluyan con los analitos de interés.

NOTA: SUSTANCIA FÁCILMENTE INFLAMABLE Y TÓXICA. Frases (R): 11-36/38-48/23-62-63. Frases (S): 16-33-36/37-45. [Real Decreto 363/1995 \(10.12.\)](#).

4.3. Disoluciones

4.3.1. Disolución de 5% (V/V) de 2-butanol en sulfuro de carbono y conteniendo el patrón interno en una concentración de 1 µl/ml.

4.3.2. Disolución patrón para la calibración a un nivel de concentración. Se prepara añadiendo, mediante microjeringas de precisión, una cantidad determinada de cada analito a un volumen de disolución desorbente (4.3.1.), a fin de obtener una disolución patrón de concentración similar a la muestra a analizar. Dicha concentración se debe expresar en términos de mg/ml de disolución desorbente.

4.3.3. Disoluciones patrón para la calibración multinivel. Se preparan cinco disoluciones añadiendo, mediante microjeringas de precisión, diferentes cantidades de cada analito a un volumen de disolución desorbente (4.3.1.), a fin de obtener disoluciones patrón de concentraciones que cubran el intervalo de aplicación del método. Dichas concentraciones se deben expresar en términos de mg/ml de disolución desorbente.

5. APARATOS Y MATERIAL

5.1. Aparatos y material para la toma de muestra

5.1.1. Bomba de muestreo. Se requiere una bomba de muestreo portátil capaz de mantener un funcionamiento continuo durante todo el tiempo de muestreo. El caudal de la bomba ha de mantenerse constante dentro de un intervalo $\pm 5\%$ (UNE EN 1232), (10.13.).

Para conectar la bomba y el tubo de carbón (o el soporte del tubo) se utilizará un tubo de goma o de plástico de longitud y diámetro adecuados, a fin de evitar estrangulamientos y fugas en las conexiones.

Para la calibración de la bomba se utilizará preferentemente un medidor de burbuja de jabón.

5.1.2. Tubos de muestreo. Se utilizarán tubos de vidrio con los dos extremos cerrados a la llama de 7 cm de longitud, 6 mm de diámetro externo y 4 mm de diámetro interno, conteniendo dos secciones de carbón activo separadas por una porción de espuma de poliuretano de 2 mm. La primera sección contiene 100 mg de carbón activo 20/40 mallas y la segunda 50 mg (tubo tipo NIOSH). Entre el extremo de salida del tubo y la segunda sección se coloca una porción de 3 mm de espuma de poliuretano. Delante de la primera sección se coloca un tapón de lana de vidrio silanizada.

Los tubos deberán disponer de tapones de polietileno que ajusten bien, para prevenir fugas durante el transporte y almacenamiento de las muestras.

Se dispondrá de algún elemento de sujeción a fin de mantener el tubo de muestreo en disposición vertical en la zona de respiración del trabajador.



5.2. Aparatos y material para el análisis

5.2.1. Tubos con tapón roscado de 2 ml de capacidad o mayores, con junta recubierta de politetrafluoroetileno.

5.2.2. Cromatógrafo de gases equipado con detector de ionización de llama capaz de detectar una inyección de 5 ng de tolueno con una relación señal-ruido de, al menos, 5 a 1.

5.2.3. Columna cromatográfica capaz de separar los analitos de interés de cualquier otro componente.

La elección de la columna se debe comprobar por inyección en dos o más columnas diferentes para asegurarse de la ausencia de interferencias. En el [anexo B](#) se incluye una guía para su elección.

5.2.4. Integrador electrónico u otro método equivalente para la medida de las áreas de los picos.



6. TOMA DE MUESTRA

6.1. Calibrar la bomba portátil conectada a un tubo de muestreo (5.1.2.) en condiciones representativas de la toma de muestra, utilizando un medidor de caudal externo (medidor de burbuja de jabón).

6.2. Romper los dos extremos del tubo de carbón justo antes de comenzar el muestreo. Conectar la bomba al tubo de carbón con un tubo de goma o de plástico de tal forma que la sección menor del tubo (segunda sección) sea la más próxima a la bomba. Evitar toda conexión, anterior a la entrada del tubo de carbón, a fin de evitar posibles adsorciones de contaminantes en la misma, que conlleven a errores en las determinaciones.

6.3. Colocar verticalmente el tubo de muestreo en la zona de respiración del trabajador (por ejemplo, sujeto a la solapa). La bomba de muestreo se sujeta en el cinturón del trabajador o en su bolsillo. En el caso de muestras estáticas debe elegirse un lugar de muestreo adecuado.

6.4. Poner en marcha la bomba y controlar la duración del muestreo. El volumen máximo a muestrear depende de muchos factores que deben tenerse en cuenta a la hora de realizar las tomas de muestra.

6.5. Los volúmenes máximos a muestrear vienen establecidos por los volúmenes de ruptura obtenidos en condiciones similares a las reales (véanse [tablas 1 y 2 del anexo A](#)). Los volúmenes de ruptura varían con la naturaleza y la concentración de cada analito y de otros contaminantes presentes en la atmósfera a muestrear incluido el vapor de agua. También dependen de la temperatura y del caudal. Un incremento de cualquiera de estos parámetros causará una disminución de los volúmenes de ruptura.

6.6. Si únicamente se encontrara presente en la atmósfera un vapor adsorbible en carbón activo, los volúmenes de ruptura de la [tabla 1 del anexo A](#) representarían valores máximos para el volumen de muestreo en las condiciones (concentración, humedad, temperatura) en las que han sido obtenidos. A menores concentraciones y humedades relativas podrán muestrearse volúmenes mayores.

6.7. En el caso de mezclas, es difícil dar un criterio general ya que la eficacia del muestreo depende de la composición de la mezcla.

Para las mezclas estudiadas (tabla 2 del anexo A) pueden tomarse como referencia los valores de la tabla en el mismo sentido indicado para un único compuesto.

6.8. Las indicaciones que se dan a continuación pueden utilizarse como base para estimar el volumen de muestreo máximo para una mezcla de vapores orgánicos en la atmósfera a muestrear cuando se conozca previamente su composición, por ejemplo, por mediciones realizadas anteriormente o mediciones aproximadas (4.2. y 4.3. de UNE EN 482) y se disponga de datos sobre los volúmenes de ruptura individuales en carbón activo.

6.9. De forma general puede decirse que el volumen de ruptura de un vapor orgánico se ve afectado por la presencia de otros vapores presentes en la atmósfera de forma similar al aumento de su propia concentración, es decir disminuyendo su valor (10.14.-10.15.). Además, respecto de la eficacia del muestreo, el constituyente de interés de una mezcla de vapores presentes en la atmósfera a muestrear es el que eluiría en primer lugar, es decir, el que presentaría un volumen de ruptura menor en esas condiciones. Por tanto, el volumen máximo a muestrear vendría limitado por el volumen de ruptura del constituyente con el menor volumen de ruptura obtenido individualmente.

6.10. La consideración de que la concentración total de la mezcla corresponde al constituyente con menor volumen de ruptura puede proporcionar, a partir de los valores de los volúmenes de ruptura individuales de este vapor a distintas concentraciones, una estimación del volumen máximo a muestrear para la atmósfera en estudio.

6.11. Puede ser conveniente la utilización de un factor de seguridad que dependerá de la fiabilidad en el conocimiento de la composición de la atmósfera y en los valores de los volúmenes de ruptura disponibles.

6.12. El caudal se debe fijar en función del tiempo de muestreo disponible según las condiciones del lugar de trabajo a evaluar (UNE EN 689), (10.16.) y del volumen máximo de muestreo. El caudal no será en ningún caso mayor que 0,2 l/min. El tiempo máximo de muestreo nunca excederá el tiempo de referencia de los correspondientes valores límite (UNE EN 482), especialmente para valores límite de corta duración, cuando esta norma se utilice para las mediciones indicadas en el capítulo 1.

6.13. Anotar y registrar los tiempos, temperatura, humedad (véanse apartado 7.4. y anexo C), caudal y presión barométrica antes y después de la toma de muestra.

6.14. Finalizado el muestreo, desconectar la bomba, retirar los tubos de muestreo y cerrar ambos extremos con los tapones de polietileno. Etiquetar convenientemente cada tubo.

6.15. Con cada lote de muestras debe prepararse un blanco de muestra, utilizando tubos idénticos a los usados para el muestreo y sometidos a las mismas manipulaciones, excepto que no se ha pasado aire a su través.

6.16. Las muestras pueden ser enviadas para su análisis posterior refrigeradas para no favorecer la migración de los analitos hacia la segunda sección de carbón activo. En cualquier caso, las muestras deben ser enviadas en recipientes adecuados a fin de evitar roturas y pérdidas.

6.17. Las muestras se deben almacenar refrigeradas y analizarse dentro de los catorce días siguientes a su captación. Sin embargo, los ésteres de éteres de glicoles (10.5.) y los alcoholes (10.6.) presentan problemas de estabilidad en muestras captadas en ambientes de alta humedad ($H_r > 60\%$), y los compuestos de alta volatilidad pueden dar lugar a migraciones de los mismos hacia la sección posterior del tubo, por lo que en estos casos se debe analizar en periodos más cortos de tiempo.

7. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

7.1. Preparación de muestras y blancos

7.1.1. Añadir 1 ml de sulfuro de carbono o de la disolución de 5% (V/V) de 2-butanol en sulfuro de carbono (4.3.1.) a un tubo roscado y cerrarlo inmediatamente. Hacer una muesca en el tubo de carbón enfrente de la primera sección de carbón activo y romper el tubo. Se saca y se desecha la lana de vidrio. Añadir la primera sección de carbón al tubo con la disolución desorbente y volver a cerrar. Agitar el tubo ocasionalmente durante un período de 30 minutos para asegurarse de que la desorción sea máxima. Repetir el mismo procedimiento para la segunda sección de carbón utilizando otro tubo roscado.

7.1.2. Si, como consecuencia de la composición cualitativa de la muestra, se requiere el uso de ambos medios de desorción (sulfuro de carbono, por la presencia de hidrocarburos alifáticos, aromáticos y clorados y ésteres de alcoholes; y disolución de 5% de 2-butanol en sulfuro de carbono (4.3.1.) como consecuencia de la presencia de analitos más polares como alcoholes y ésteres de éteres de glicoles), las muestras se desorberán de acuerdo con un doble y consecutivo procedimiento de desorción. En primer lugar la muestra se desorberá con sulfuro de carbono y, después de completar el análisis cromatográfico de la disolución resultante, se añaden 50 μ l de 2-butanol (4.2.3.) y se espera de nuevo un período de 30 minutos para asegurar la completa recuperación (10.17.).

7.2. Calibración

7.2.1. Calibración a un nivel de concentración. Para minimizar errores en la adición del patrón interno en muestras y patrones se recomienda la utilización de la disolución desorbente (4.3.1.), que lleva incorporado npropilbenceno como patrón interno, tanto para la

desorción de las muestras como para la preparación de la disolución patrón.

La disolución patrón se prepara por triplicado según el apartado 4.3.2. analizándose en las mismas condiciones que las muestras, con el fin de obtener una respuesta media de cada analito (8.2.1.1.).

7.2.2. Calibración multinivel. Cada una de las cinco disoluciones patrón preparadas según el apartado 4.3.3. se analizan en las mismas condiciones que las muestras. Cada curva de calibración se construye representando en una gráfica las concentraciones del compuesto de interés en mg/ml de disolución, frente a las relaciones de áreas entre el pico del analito y el pico del patrón interno.

7.3. Análisis cromatográfico

Inyectar una alícuota de 1 a 5 µl tanto de las disoluciones resultantes de las desorciones del tubo de carbón (7.1.) como de las disoluciones patrón en el cromatógrafo de gases. Determinar las áreas de los picos de los analitos de interés y del patrón interno.

7.4. Determinación de la eficacia de desorción

La eficacia de desorción de los vapores orgánicos puede variar con el tipo y lote de carbón usado, siendo necesario calcularla para cada lote de carbón y para cada analito sobre el intervalo de aplicación del método.

Para calcular dicha eficacia de desorción, se inyectan diferentes cantidades de los analitos de interés en, al menos, tres tubos conteniendo 100 mg de carbón (primera sección de un tubo de muestreo) para cubrir el intervalo de aplicación del método. Una vez adicionados los contaminantes a los tubos de carbón, se guardan refrigerados durante toda la noche para asegurar la completa adsorción. Estos tubos se tratan como muestras. Paralelamente debe prepararse un tubo blanco por cada concentración, de la misma manera que las muestras, excepto que no se le ha añadido contaminante.

Asimismo, se preparan dos o tres patrones inyectando el mismo volumen de los contaminantes en 1 ml de disolvente de desorción, con la misma microjeringa utilizada en la preparación de las muestras.

Tanto los tubos blancos como de muestra, se desorben con 1 ml de disolvente de desorción de la forma descrita en el apartado 7.1. analizándose dichas disoluciones, así como las disoluciones patrón de la misma manera que se ha descrito en el apartado 7.3.

NOTA: Humedades relativas superiores al 60% durante el muestreo dan lugar a recuperaciones más bajas de ciertos analitos del carbón activo. En el [anexo C](#) se describe un procedimiento de cálculo de la eficacia de desorción que incluye el paso de aire húmedo a través del tubo de muestreo, que debe ser utilizado para corregir los resultados obtenidos en el análisis de muestras captadas en ambientes de alta humedad (Hr > 60%).

8. CÁLCULOS

8.1. Cálculo de la eficacia de desorción

La eficacia de desorción (ED) se calcula basándose en los resultados obtenidos en el apartado 7.4., mediante la siguiente expresión:

$$ED = \frac{m_i - m_b}{m}$$

donde:

m_i es la cantidad promedio (mg) de analito recuperada en la primera sección del tubo de carbón (tubo tratado como muestra).

m es la cantidad promedio (mg) de analito añadida al patrón .

m_b es la cantidad de analito (mg) encontrada en el blanco.

Con el uso del procedimiento de desorción anteriormente descrito, se ha comprobado que la eficacia de desorción de los compuestos, y en los intervalos de concentración indicados en el [capítulo 1](#) de este método, es prácticamente total (ED > 0,97) y constante en esos intervalos de concentración (véanse [tablas 3 - 7 del anexo A](#)).

En cualquier caso se recomienda calcular dichos valores en cada laboratorio, no utilizándose aquellos tubos cuya eficacia de desorción sea inferior a 75% (E D = 0,75).

8.2. Determinación de la concentración de analito presente en la disolución de desorción

8.2.1. Calibración a un nivel de concentración

8.2.1.1. Determinación del factor de respuesta. Se calcula el factor de respuesta para cada analito y para el patrón interno con los datos obtenidos en el apartado 7.2.1. mediante la expresión:

$$F_R = \frac{m}{A}$$

donde:

m es la cantidad de analito o patrón interno en las disoluciones patrón.

A es el área promedio correspondiente a cada analito o patrón interno en las disoluciones patrón.

8.2.1.2. Determinación del factor de respuesta relativo. Se calcula para cada compuesto utilizando la expresión:

$$f_i = \frac{F_R \text{ analito}}{F_R \text{ patrón interno}}$$

8.2.1.3. La concentración en miligramos por mililitro de cada analito, en las disoluciones de desorción de cada sección del tubo de muestreo, se determina según la expresión:

$$c_i = \frac{A_i \times c_o \times f_i}{A_o}$$

donde:

c_i es la concentración de analito en mg/ml de disolución.

c_o es la concentración de patrón interno en mg/ml de disolución.

A_i es el área correspondiente al pico de analito en la muestra.

A_o es el área correspondiente al pico de patrón interno en la muestra.

f_i es el factor de respuesta relativo.

8.2.2. Calibración multinivel. Leer la concentración en miligramos por mililitro correspondiente a cada sección del tubo de muestreo en la curva de calibración (véanse apartado 7.2.2.).

8.3. Determinación de la cantidad de analito presente en la muestra

Una vez determinada la concentración de analito en la disolución de desorción, se calcula la cantidad en mg de compuesto en el tubo de muestreo mediante la siguiente expresión:

$$m_s = \frac{c_f + c_p - c_b}{ED} \times V_d$$

donde:

m_s es la cantidad total de analito presente en la muestra, en mg.

c_f es la concentración de analito en mg/ml en la sección frontal del tubo de muestreo.

c_p es la concentración de analito en mg/ml en la sección posterior del tubo de muestreo.

c_b es la concentración de analito en mg/ml en las dos secciones del blanco.

ED es la eficacia de desorción.

V_d es el volumen de disolución desorbente, en ml.

8.4. Determinación de la concentración de analito en aire

Se calcula la concentración de analito en aire muestreado, en miligramos por metro cúbico, por medio de la siguiente ecuación:

$$C_{\text{aire}} = \frac{m_s}{V}$$

donde:

C_{aire} es la concentración de analito en el aire muestreado, en mg/m³.

m_s es la cantidad total de analito presente en la muestra, en mg.

V es el volumen de aire muestreado, en m³.

La concentración de analito en aire, expresada en mililitros por metro cúbico (ppm), se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$C_{\text{ppm}} = \frac{24,0}{M} \times \frac{101,3}{P} \times \frac{t + 273,15}{293,15}$$

donde:

P es la presión del aire muestreado en KPa (10^3 N/m²).

t es la temperatura del aire muestreado en °C.

M es el peso molecular del analito en g/mol.

9. PRECISIÓN

9.1. Los valores de repetibilidad y reproducibilidad, obtenidos a través de una prueba interlaboratorios para la evaluación del método de análisis de hidrocarburos clorados en aire (10.3.) y calculados según la norma ISO 5727 (10.18.), son inferiores a 15% y 22%, respectivamente.

9.2. Los sesgos de los distintos métodos de análisis, referentes a las diferentes familias orgánicas incluidas en el campo de aplicación de este procedimiento general de análisis (10.1.-10.6.), calculados a partir de los datos intralaboratorio de muestras captadas en atmósferas de composición homogénea y concentraciones conocidas, son inferiores a 10% en todos los respectivos intervalos de aplicación de los métodos individuales, cumpliendo por tanto el requisito de exactitud establecido en el Protocolo de Validación (10.19.).

9.3. Los coeficientes de variación, obtenidos en las distintas pruebas intralaboratorios indicadas en el párrafo anterior, son inferiores a 6% (10.1.-10.6.), estando también esto de acuerdo con el citado Protocolo (10.19.).

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. **Métodos de Toma de Muestra y Análisis. Determinación de hidrocarburos alifáticos (n-hexano, n-heptano, n-octano, n-nonano) en aire. Método de adsorción en carbón activo / Cromatografía de gases. MTA/MA-029/A92.**
2. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. **Métodos de Toma de Muestra y Análisis. Determinación de hidrocarburos aromáticos (benceno, tolueno, etilbenceno, p-xileno, 1,2,4-trimetilbenceno) en aire. Método de adsorción en**

- carbón activo / Cromatografía de gases. MTA/MA-030/A92.
3. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Métodos de Toma de Muestra y Análisis. Determinación de hidrocarburos clorados (tricloroetileno, tetracloroetileno, 1,1,1-tricloroetano) en aire. Método de adsorción en carbón activo / Cromatografía de gases. MTA/MA-013/R87.
 4. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Métodos de Toma de Muestra y Análisis. Determinación de ésteres I (acetato de metilo, acetato de etilo, acetato de isobutilo, acetato de n-butilo) en aire. Método de adsorción en carbón activo / Cromatografía de gases. MTA/MA-023/A92.
 5. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Métodos de Toma de Muestra y Análisis. Determinación de ésteres II (acetato de 1-metoxi-2-propilo, acetato de 2-etoxietilo) en aire. Método de adsorción en carbón activo / Cromatografía de gases. MTA/MA-024/A92.
 6. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Métodos de Toma de Muestra y Análisis. Determinación de alcoholes (isopropanol, isobutanol, n-butanol) en aire. Método de adsorción en carbón activo/ Cromatografía de gases. MTA/MA-016/A89.
 7. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Métodos de Toma de Muestra y Análisis. Determinación de aminas alifáticas terciarias (etil dimetilamina) en aire. Método de adsorción en gel de sílice / Cromatografía de gases. MTA/MA-021/A91.
 8. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Métodos de Toma de Muestra y Análisis. Determinación de fenol en aire. Método de adsorción en gel de sílice / Cromatografía de gases. MTA100(1)/P90.
 9. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Métodos de Toma de Muestra y Análisis. Determinación de glicol éteres (1-metoxi-2-propanol, 2-etoxietanol) en aire. Método de adsorción en carbón activo / Cromatografía de gases. MTA/MA-017/A89.
 10. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Métodos de Toma de Muestra y Análisis. Determinación de cetonas (acetona, metil etil cetona, metil isobutil cetona) en aire. Método de adsorción en gel de sílice / Cromatografía de gases. MTA/MA031/A94.
 11. UNE EN 482 "Atmósferas en el lugar de trabajo. Requisitos generales relativos al funcionamiento de los procedimientos para la medición de agentes químicos".
 12. Real Decreto 363/1995 ⁽¹⁾ de 10 de marzo (B.O.E. 5.6.95). "Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas". Modificado por Orden de 13 de septiembre de 1995 (B.O.E. 19.9.95).
 13. UNE EN 1232 "Atmósferas en el lugar de trabajo. Bombas para muestreos personales de agentes químicos. Requisitos y métodos de ensayo".
 14. Escobal, A., Quintana, M.J. "Estimación de los tiempos de muestreo para mezclas de vapores orgánicos en los lugares de trabajo" Presentado en el XIV Congreso Mundial sobre Seguridad y Salud en el Trabajo, Madrid, 22-26 abril (1996).
 15. Quintana, M.J., Uribe, B., López Arbeloa, J.F. "Sorbents for active sampling" En Clean Air at work. New trends in Assessment and measurement for the 1990s". The Royal Society of Chemistry. Special publication n° 108,123, (1992).
 16. UNE EN 689 "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 la medición".
 17. López Arbeloa, J.F. y Uribe, B. "Propuesta de un nuevo procedimiento para la recuperación cuantitativa de compuestos orgánicos captados en carbón activo." XI Congreso Nacional de Medicina, Higiene y Seguridad en el Trabajo. Madrid, 1987.
 18. ISO 5725 "Precision of test methods. Determination of repeatability and reproducibility by interlaboratory test".
 19. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. "Protocolo de validación para vapores orgánicos captados en un adsorbente sólido mediante un sistema activo" MTA/PV-I/90.
 20. UNE EN 1076 "Atmósferas en el lugar de trabajo. Tubos adsorbentes para la determinación de gases y vapores. Requisitos y métodos de ensayo".
 21. National Institute for Occupational Safety and Health. Manual of Analytical Methods. 3rd ed. Cincinnati, (1984).

ANEXO A

En este anexo se recogen las tablas de los datos obtenidos en las experiencias llevadas a cabo para el desarrollo del método, siguiendo los criterios indicados en el protocolo de validación para vapores orgánicos captados en un adsorbente sólido mediante un sistema activo (10.19.).

TABLA 1
Volúmenes de ruptura de compuestos orgánicos
volátiles considerados individualmente ⁽¹⁾

Compuesto	Concentración de la atmósfera (mg/m ³)	Humedad relativa (%)	Caudal (l/min)	Volumen de ruptura (l)
n-Pentano	5470,00	76	0,110	2,1
n-Hexano	2377,00	76	0,204	4,5
n-Heptano	3888,00	76	0,203	5,5

n-Octano	5075,00	76	0,206	5,4
n-Nonano	5983,00	80	0,207	4,8
n-Decano	5165,00	80	0,210	6,5
Benceno	164,58	82	0,196	41,0
Tolueno	2175,00	82	0,224	12,0
Etilbenceno	824,00	82	0,230	36,8
p-Xileno	850,22	82	0,228	38,0
1,2,4-Trimetilbenceno	471,15	82	0,205	>42,0
1,1,1-Tricloroetano	3967,39	40	0,200	10,5
	3862,00	90	0,200	5,7
Tricloroetileno	545,00	40	0,200	>60,0
	531,00	90	0,200	16,0
Tetracloroetileno	751,00	40	0,200	>33,0
	676,00	90	0,200	29,5
Tetracloruro de carbono	59,54	81	0,216	22,0
	78,43	92	0,210	17,0
Cloroformo	96,12	83	0,215	18,2
	102,05	87	0,209	15,0
Clorobenceno	108,62	90	0,200	>41,0
Acetato de metilo	1310,28	80	0,210	9,0
Acetato de etilo	3424,00	80	0,211	7,5
Acetato de n-propilo	1682,01	91	0,109	16,0
Acetato de isobutilo	1292,78	78	0,207	25,5
Acetato de n-butilo	1329,74	78	0,213	20,0
Acetato de isoamilo	604,65	90	0,109	>41,0
Acetato de n-amilo	571,42	87	0,108	39,0
	995,23	75	0,192	32,5
Acetato de 1-metoxi-2-propilo	107,78	82	0,340	>40,8
Acetato de 2-etoxietilo	101,97	82	0,375	>56,6
Isopropanol	2223,00	80	0,900	0,9 < VR < 8,1

(1) Los datos recogidos en esta tabla se han obtenido preparando atmósferas contaminadas de los diferentes compuestos orgánicos a la concentración indicada en la segunda columna

TABLA 2
Volúmenes de ruptura para mezclas de composición
homogéneas de vapores orgánicos (1)

Compuesto	Concentración de la atmósfera (mg/m ³)	Humedad relativa (%)	Caudal (l/min)	Volumen de ruptura (l)
n-Hexano	363,60	76	0,113	2,54 < VR < 3,50
n-Heptano	2516,08			2,54 < VR < 3,50
n-Octano	2588,18			2,54 < VR < 3,50
n-Nonano	2648,02			3,50 < VR < 4,75
n-Decano	2714,00			7,00
n-Hexano	368,00	76	0,112	2,24 < VR < 3,36
n-Heptano	3002,00			2,24 < VR < 3,36
n-Octano	2718,00			3,36 < VR < 4,14

n-Nonano	2462,00			6,83
n-Hexano	352,00	10	0,118	2,83<VR<3,54
n-Heptano	2870,00			3,54<VR<5,55
n-Octano	2599,00			3,54<VR<5,55
n-Nonano	2354,00			7,91 <VR<9,30
Benceno	65,08	82	0,250	7,00
Tolueno	810,51			8,60
Etilbenceno	932,76			11,00 ⁽²⁾
p-Xileno	931,69			11,00 ⁽²⁾
1,2,4-Trimetilbenceno	295,22			>30,00
Benceno	65,08	10	0,250	10,60
Tolueno	810,51			11,40
Etilbenceno	932,76			13,06 ⁽²⁾
p-Xileno	931,69			13,06 ⁽²⁾
1,2,4-Trimetilbenceno	295,22			>30,00
Benceno	58,06	82	0,080	9,00
Tolueno	733,60			10,60
Etilbenceno	836,03			12,50 ⁽²⁾
p-Xileno	830,81			12,50 ⁽²⁾
1,2,4-Trimetilbenceno	291,29			>19,00
1,1,1-Tricloroetano	3923,37	90	0,200	5,00
Tricloroetileno	553,33			9,00
Tetracloroetileno	670,40			25,20
1,1,1-Tricloroetano	3867,06	60	0,200	6,30
Tricloroetileno	543,00			11,00
Tetracloroetileno	660,77			36,00
1,1,1-Tricloroetano	3843,06	40	0,200	8,30
Tricloroetileno	540,53			15,60
Tetracloroetileno	656,67			>37,00
Tetracloruro de carbono	62,38	85	0,204	19,2
Cloroformo	99,29			17,0
Clorobenceno	92,93			>53,0
Tetracloruro de carbono	70,06	77	0,207	20,2
Cloroformo	114,95			15,4
Clorobenceno	96,59			>50,0
Acetato de metilo	1303,79			3,80

Acetato de etilo	2548,32	80	0,215	4,80
Acetato de isobutilo	1240,96			10,60
Acetato de n-butilo	1258,81			12,00
Acetato de n-propilo	1664,32	90	0,109	11,0
Acetato de isoamilo	546,60			>26,0
Acetato de n-amilo	545,5			>26,0
Acetato de n-propilo	1677,08	90	0,108	11,0
Acetato de isoamilo	559,58			>28,0
Acetato de n-amilo	536,29			>28,0
Acetato de 1-metoxi-2-propilo	55,36	80	0,200	>54,40
Acetato de 2-etoxietilo	55,76			>54,40
Isopropanol	1838,8	87	0,200	6,00
Isobutanol	285,0			11,00
n-Butanol	288,7			26,6

(1) Los datos recogidos en esta tabla se han obtenido preparando atmósferas contaminadas conteniendo mezcla de los compuestos orgánicos volátiles a las concentraciones indicadas en la segunda columna

(2) Corresponde a la mezcla etilbenceno y p-xileno VR es el volumen de ruptura

TABLA 3
Eficacias de desorción mezcla hidrocarburos alifáticos, aromáticos y clorados

Compuesto	Cantidad añadida (mg)	1 ml sulfuro de carbono			+50 µl 2-butanol		
		Cantidad recuperada (mg)	Coefficiente de Variación (%)	Eficacia de Desorción	Cantidad recuperada (mg)	Coefficiente de Variación (%)	Eficacia de Desorción
n-Hexano	0,1203	0,1233	0,97	1,0249	(*)	(*)	(*)
1,1,1-Tricloroetano	0,9770	0,9868	0,80	1,0100	0,9671	1,30	0,9899
Benceno	0,0642	0,0631	0,63	0,9829	0,0620	1,29	0,9657
Tricloroetileno	0,5326	0,5411	0,63	1,0160	0,5333	0,88	1,0013
Tolueno	0,1568	0,1538	0,65	0,9809	0,1529	0,59	0,9751
n-Octano	0,5122	0,5214	0,57	1,0180	0,5174	0,64	1,0102
Tetracloroetileno	0,5910	0,5825	0,65	0,9856	0,5787	0,50	0,9792
Etilbenceno	0,3174	0,3151	0,67	0,9928	0,3145	0,54	0,9981
p-Xileno	0,3138	0,3061	0,59	0,9755	0,3059	0,59	0,9993
n-Nonano	0,5233	0,5311	0,64	1,0149	0,5287	0,70	1,0103
1,2,4- Trimetilbenceno	0,1597	0,1548	0,97	0,9693	0,1507	2,85	0,943

(*) Interferencia 2-butanol (columna de SE30)

TABLA 4
Eficacias de desorción mezcla (A) vapores orgánicos (Bajo nivel de concentración)

Compuesto	Cantidad añadida (mg)	1 ml sulfuro de carbono			+50 µl 2-butanol		
		Cantidad recuperada (mg)	Coefficiente de Variación (%)	Eficacia de Desorción	Cantidad recuperada (mg)	Coefficiente de Variación (%)	Eficacia de Desorción
Isopropanol	0,1062	0,0674	0,30	0,6347	0,1008	1,39	0,9491
Acetato Metilo	0,1250	0,1135	1,06	0,9080	0,1177	10,71	0,9416
Isobutanol	0,0541	0,0369	1,36	0,6821	0,0544	0,74	1,0055
1-Metoxi-2-propanol	0,0250	(*)	(*)	(*)	0,0224	1,79	0,8980
Tricloroetileno	0,1975	0,1973	1,57	0,9990	0,1926	1,25	0,9752
Acetato isobutilo	0,1189	0,1143	1,14	0,9613	0,1204	0,75	1,0126
n-Nonano	0,1939	0,2000	1,60	1,0315	0,1987	1,36	1,0248
Acetato 2-etoxietilo	0,0287	0,0165	8,48	0,5749	0,0277	9,39	0,9652
1,2,4 Trimetilbenceno	0,0591	0,0572	1,05	0,9679	0,0591	1,52	1,0000

(*) No detectado

TABLA 5
Eficacias de desorción mezcla (A) vapores orgánicos (Alto nivel de concentración)

Compuesto	Cantidad añadida (mg)	1 ml sulfuro de carbono			+50 µl 2-butanol		
		Cantidad recuperada (mg)	Coefficiente de Variación (%)	Eficacia de Desorción	Cantidad recuperada (mg)	Coefficiente de Variación (%)	Eficacia de Desorción
Isopropanol	1,0620	0,8687	0,68	0,8180	1,0414	0,36	0,9806
Acetato Metilo	1,2733	1,2415	0,99	0,9750	1,2405	0,56	0,9742
Isobutanol	0,5440	0,4597	0,50	0,8450	0,5495	0,18	1,0101
1-Metoxi-2-propanol	0,2618	0,1258	4,37	0,4805	0,2380	0,84	0,9091
Tricloroetileno	1,9850	1,9846	0,65	0,9998	1,9528	0,56	0,9863
Acetato isobutilo	1,2038	1,1972	0,37	0,9945	1,2220	0,52	1,0151
n-Nonano	1,9771	2,0165	0,55	1,0199	2,0089	0,61	1,0161
Acetato 2-etoxietilo	0,3077	0,2853	1,23	0,9272	0,3149	1,52	1,0234
1,2,4 Trimetilbenceno	0,6092	0,5890	0,37	0,9668	0,5885	0,82	0,9660

TABLA 6
Eficacias de desorción mezcla (B) vapores orgánicos (Bajo nivel de concentración)

Compuesto	Cantidad añadida (mg)	1 ml sulfuro de carbono			+50 µl 2-butanol		
		Cantidad recuperada (mg)	Coefficiente de Variación (%)	Eficacia de Desorción	Cantidad recuperada (mg)	Coefficiente de Variación (%)	Eficacia de Desorción
Etanol	0,0534	0,0252	3,17	0,4719	0,0512	1,76	0,9588
Acetona	0,1068	0,0830	1,45	0,7772	0,1041	1,44	0,9747
n-Butanol	0,0547	0,0318	1,57	0,5814	0,0543	1,47	0,9927
Tricloroetileno	0,1973	0,1923	0,94	0,9747	0,1916	1,10	0,9711
Etoxi-etanol	0,0251	(*)	(*)	(*)	0,0184	12,50	0,7331

Metil isobutil cetona	0,0541	0,0479	0,84	0,8854	0,0539	1,11	0,9963
Acetato n-butilo	0,1192	0,1192	0,08	0,9203	0,1188	1,01	0,9966
Ac 1-metoxi-2-propilo	0,0262	0,0165	1,82	0,6298	0,0258	1,94	0,9847
n-Nonano	0,1938	0,1939	0,88	1,0005	0,1932	0,83	0,9969
1,2,4 Trimetilbenceno	0,0591	0,0563	0,89	0,9526	0,0559	0,89	0,9459

(*) No detectado

TABLA 7
Eficacias de desorción mezcla (B) vapores orgánicos (Alto nivel de concentración)

Compuesto	Cantidad añadida (mg)	1 ml sulfuro de carbono			+50 µl 2-butanol		
		Cantidad recuperada (mg)	Coefficiente de Variación (%)	Eficacia de Desorción	Cantidad recuperada (mg)	Coefficiente de Variación (%)	Eficacia de Desorción
Etanol	0,5494	0,3807	0,84	0,6929	0,5481	1,04	0,9976
Acetona	1,0792	0,9789	0,59	0,9071	1,0773	0,61	0,9982
n-Butanol	0,5520	0,4325	0,81	0,7835	0,5661	0,83	1,0255
Tricloroetileno	1,9744	1,9643	0,53	0,9949	1,9808	0,43	1,0032
Etoxietanol	0,3178	0,1159	0,60	0,3647	0,2738	1,02	0,8615
Metil isobutil cetona	0,5425	0,5270	0,61	0,9714	0,5532	0,56	1,0197
Acetato n-butilo	1,1944	1,1790	0,58	0,9871	1,2213	0,57	1,0225
Ac 1-metoxi-2-propilo	0,2849	0,2668	0,67	0,9365	0,2888	0,55	1,0137
n-Nonano	1,9482	1,9855	0,57	1,0191	1,9859	0,59	1,0194
1,2,4 Trimetilbenceno	0,6174	0,5971	0,59	0,9671	0,5967	0,67	0,9665

ANEXO B: Columnas cromatográficas apropiadas para el análisis de compuestos orgánicos volátiles

Se puede usar una gran variedad de columnas para el análisis de vapores orgánicos. Su elección depende fundamentalmente de la presencia o no de otros compuestos orgánicos que pudiesen interferir en el análisis cromatográfico. En cualquier caso, una elección adecuada puede ser una columna de acero inoxidable de 6,1 m por 3,17 mm de diámetro externo rellena con 10 % de Polietilenglicol (FFAP) o Metilsilicona (SE 30) sobre Chromosorb W lavado con ácido y silanizado. El uso de columnas capilares puede ser ventajoso en ciertas circunstancias, dado su mayor poder de resolución cromatográfica, así como por ser fabricadas con materiales más inertes. A modo de guía, en la [Tabla 3](#) se indican los valores de retenciones relativas para ciertos compuestos orgánicos volátiles respecto al n-Propilbenceno, en columnas capilares de sílice fundida de 25 m de longitud x 0,2 mm de diámetro interno rellenas de FFAP (0,30 µm) y SE30 (0,33 µm), utilizando un gradiente de temperatura de 60 °C a 150 °C a 3 °C/min y un tiempo inicial y final de 15 min.

NOTA - El análisis cualitativo de las muestras debe basarse, al menos, en la correspondencia de los tiempos de retención en dos columnas diferentes.

TABLA 3
Datos de retenciones relativas de compuestos orgánicos volátiles y sulfuro de carbono respecto al n-Propilbenceno en FFAP y SE30

Compuesto	FFAP	SE30
n-pentano	0,007	0,028
n-hexano	0,014	0,065
ciclopentano	0,018	0,049
2,2,4-trimetilpentano	0,022	0,136
metilciclopentano	0,024	0,082
n-heptano	0,027	0,146
sulfuro de carbono	0,033	0,032

ciclohexano	0,033	0,108
metilciclohexano	0,048	0,177
n-octano	0,053	0,329
acetona	0,067	0,022
acetato de metilo	0,071	0,031
tetrahidrofurano	0,094	0,074
tetracloruro de carbono	0,101	0,103
1,1,1-tricloroetano	0,104	0,088
acetato de etilo	0,106	0,063
n-nonano	0,107	0,738
metanol	0,112	0,009
acetato de vinilo	0,113	0,049
acetato de isopropilo	0,113	0,095
acetato de tertbutilo	0,115	0,136
metil etil cetona	0,121	0,053
isopropanol	0,134	0,024
diclorometano	0,144	0,034
etanol	0,144	0,016
benceno	0,164	0,100
acetato de n-propilo	0,197	0,141
metil n-propil cetona	0,206	0,111
acetato de secbutilo	0,212	0,209
n-decano	0,216	1,427
acrilato de etilo	0,225	0,123
tricloroetileno	0,228	0,133
acrilonitrilo	0,229	0,025
metacrilato de metilo	0,245	0,136
metil isobutil cetona	0,252	0,174
acetato de isobutilo	0,255	0,233
acetoneitrilo	0,256	0,018
2-butanol	0,268	0,056
β-pineno	0,269	0,926
cloroformo	0,272	0,066
tetracloroetileno	0,281	0,331
n-propano	0,299	0,033
tolueno	0,323	0,231
dioxano	0,380	0,133
1,2-dicloroetano	0,389	0,082
acetato de n-butilo	0,391	0,320
metil n-butil cetona	0,420	0,254
isobutanol	0,431	0,071
n-undecano	0,438	1,979
β-pineno	0,488	1,201
acetato de isoamilo	0,554	0,114
1-metoxi-2-propanol	0,573	0,105
etilbenceno	0,580	0,486
p-xileno	0,613	0,524

óxido de mesitilo	0,613	0,279
n-butanol	0,634	0,094
m-xileno	0,640	0,524
2-metil-3-pentanol	0,684	0,232
1-etoxi-2-propanol	0,731	0,193
4-metil-2-pentanol	0,732	0,209
isopropilbenceno	0,786	0,796
acetato de n-amilo	0,788	0,718
metil n-amil cetona	0,844	0,573
o-xileno	0,859	0,619
ciclopentanona	0,878	0,241
n-dodecano	0,892	2,435
limoneno	0,914	1,536
epiclorhidrina	0,994	0,136
n-propil benceno	1,000	1,000
1-nitropropano	1,045	0,153
2-etoxietanol	1,085	0,139
4-etiltolueno	1,089	1,071
3-etiltolueno	1,107	1,057
acetato de 1-metoxi-2-propilo	1,118	0,475
2-isopropoxietanol	1,148	0,217
1,3,5-trimetilbenceno	1,221	1,113
n-pentanol	1,270	0,220
acetato de 1-etoxi-2-propilo	1,313	0,818
estireno	1,316	0,593
2-etiltolueno	1,323	1,172
acetato de 2-metoxietilo	1,327	0,360
1,2,4-trimetilbenceno	1,436	1,273
3-hidroxi-2-butanona	1,486	0,125
ciclohexanona	1,489	0,539
n-tridecano	1,509	2,830
acetato de 2-etoxietilo	1,548	0,640
1,2,3-trimetilbenceno	1,724	1,438
N,N"-dimetilformamida	1,740	0,206
diacetona alcohol	1,868	0,369
n-tetradecano	1,996	3,186
2-butoxietanol	2,044	0,671
acetato de 2-butoxi etilo	2,298	1,810



ANEXO C: Cálculo de la eficacia de desorción con humedad

Se describe en este anexo el procedimiento a seguir para el cálculo de la eficacia de desorción, según un método dinámico, que estudia el efecto del contenido de vapor de agua en el aire muestreado en la recuperación de los compuestos orgánicos volátiles polares del carbón activo.

Para calcular dicha eficacia de desorción, se inyectan lentamente, mediante una microjeringa de precisión, alícuotas conocidas de los analitos de interés en los tapones de lana de vidrio que preceden a las primeras secciones de carbón, de al menos tres tubos de muestreo (5.1.2.). Cada tubo muestra se conecta a una bomba de muestreo (5.1.1.), según se especifica en el apartado 6.2., y se hace pasar aire en las mismas condiciones referentes a temperatura, humedad relativa, caudal y volumen de muestreo que las medidas durante la captación de las muestras. Paralelamente, debe prepararse un tubo en blanco de la misma manera que los tubos muestra

excepto que no se le ha añadido contaminante.

Asimismo, se preparan un mínimo de tres patrones inyectando el mismo volumen de contaminantes en 1 ml de disolución desorbente, con la misma microjeringa utilizada en la preparación de las muestras.

Tanto los tubos muestra, como el blanco, se desorben con 1 ml de disolución desorbente de la forma descrita en el apartado 7.1., analizándose dichas disoluciones, así como las disoluciones patrón, de la misma manera que se ha descrito en el apartado 7.3. La eficacia de desorción se calcula por comparación de la cantidad recuperada en las muestras con la cantidad encontrada en los patrones, es decir, como se especifica en el apartado 8.1.



Para cualquier observación o sugerencia en relación con este Método puede dirigirse al
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
[Centro Nacional de Verificación de Maquinaria](#)
Camino de la Dinamita, s/n Monte Basatxu-Cruces - 48903 BARACALDO (VIZCAYA)
Tfn. 944 990 211 - 944 990 543 Fax 944 990 678
Correo electrónico.- cnvminsht@mtas.es



ADENDA

Revisión normativa

⁽¹⁾ [Real Decreto 363/1995](#) sufre periódicamente modificaciones por lo que es conveniente consultar los listados que en esta Web se trata de mantener actualizados

