

# Determinación de disolventes de adhesivos de calzado (n-hexano y tolueno) en aire exhalado - Método de captación con tubo adsorbente - desorción con disolvente / Cromatografía de gases

MTA/MB-017/A94

**Palabras clave:** n-Hexano, tolueno, aire exhalado, cromatografía de gases.

## PRESENTACIÓN

El n-hexano y el tolueno, son normalmente los componentes mayoritarios en los disolventes de adhesivos utilizados en la fabricación de calzado. Por esta razón resulta de interés disponer de un método ensayado y validado para la determinación de ambos disolventes en el aire exhalado final, para su utilización en el control biológico de la exposición a ambos compuestos.

El método "*Determinación de disolventes de adhesivos de calzado (n-hexano y tolueno) en aire exhalado*" es un **MÉTODO ACEPTADO** por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Como **MÉTODO ACEPTADO** se entiende un método evaluado por 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 CE ó basados en métodos ampliamente conocidos y evaluados por especialistas en este tipo de análisis.

El método que se presenta se ha estudiado siguiendo el protocolo de validación (10.2) establecido por el INSHT.

## Índice

### 1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

### 2. DEFINICIONES

### 3. FUNDAMENTO DEL MÉTODO

### 4. REACTIVOS Y PRODUCTOS

#### 4.1. Gases

#### 4.2. Reactivos

### 5. APARATOS Y MATERIAL

#### 5.1. Material para la toma de muestras

#### 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 exhalado

## 9. PRECISIÓN

## 10. BIBLIOGRAFÍA

---

# 1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Se describe en este método el procedimiento a seguir y el equipo necesario para la captación y el análisis de los vapores de n-hexano y tolueno o sus mezclas, presentes en el aire exhalado. La captación se realiza mediante un sistema (5.1.1.) que permite la selección de la fracción final del aire exhalado (2.1. y 6.), reteniéndose los vapores de n-hexano y tolueno presentes, en un tubo de carbón activo, para su análisis posterior por cromatografía de gases.

El método se ha ensayado para la mezcla de n-hexano y tolueno en el intervalo de concentraciones siguientes (10.1., 10.2.):

n-Hexano (Nº CAS 110-54-3): de 12,2 mg/m<sup>3</sup> aire a 110,1 mg/m<sup>3</sup> aire

Tolueno (Nº CAS 108-88-3): de 12,4 mg/m<sup>3</sup> aire a 115,5 mg/m<sup>3</sup> aire

Los datos de validación para estos intervalos se incluyen en el [anexo A](#).

Estos límites se pueden variar en la práctica, modificando el procedimiento operativo de toma de muestra, puesto que el sistema utilizado, descrito en (5.1.1.) permite enriquecer la muestra recogida en el tubo adsorbente (5.1.2.) hasta alcanzar las cantidades adecuadas para su análisis cromatográfico.

Cualquier compuesto presente en el aire exhalado que pueda captarse en el tubo adsorbente, y que tenga el mismo tiempo de retención que el n-hexano o el tolueno, en las condiciones descritas en el método, debe ser considerado como una interferencia. Estas interferencias pueden minimizarse seleccionando las condiciones y columnas cromatográficas adecuadas



## 2. DEFINICIONES

### 2.1. Aire exhalado final

Es la fracción final del aire exhalado recogida siguiendo un procedimiento predeterminado. Esta fracción es la que mejor se puede identificar con la fracción alveolar (10.3). El procedimiento utilizado en este método (6.2 a 6.5) está basado en el descrito en 10.4.



## 3. FUNDAMENTO DEL MÉTODO

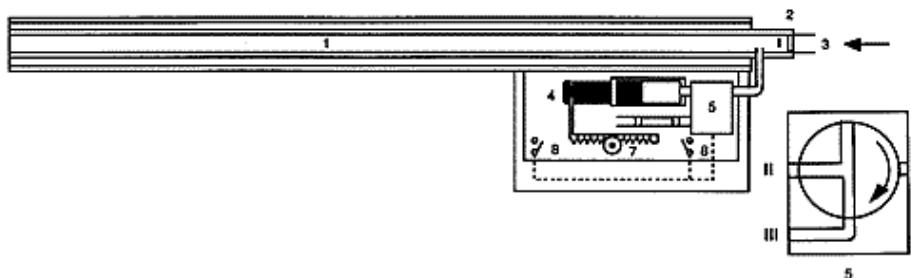
El aire exhalado final (2.1) se recoge con un tubo de Haldane-Priestley modificado (véase 5.1.1 y figura 1), siguiendo el procedimiento descrito en el [capítulo 6](#).

El aire exhalado final recogido, procedente de cinco exhalaciones sucesivas, se hace pasar vía una válvula, a través de un lecho adsorbente (carbón activo) con objeto de retener los vapores orgánicos que contenga.

Los vapores retenidos se desorben con sulfuro de carbono y una parte alícuota de la muestra extraída se inyecta en un cromatógrafo de gases equipado con un detector de ionización de llama.

Mediante las áreas de los picos de n-hexano y tolueno se determina la cantidad de los mismos presente en la muestra y a partir de estos valores se calculan las concentraciones en aire exhalado en función del volumen de aire recogido en cada tubo.

**Figura 1**  
**Sistema de captación de aire exhalado**



- (1) tubo de aluminio calorifugado; (5) válvula de tres vías;  
 (2) válvula antiretroceso; (6) tubo adsorbente;  
 (3) tubo de cartón desechable; (7) motor;  
 (4) jeringa; (8) interruptores final de carrera.

## 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 serán de calidad analítica como mínimo.

#### 4.2.1. Sulfuro de carbono (exento de compuestos que interfieran con los analitos de interés).

**PRECAUCIÓN:** SUSTANCIA MUY INFLAMABLE Y MUY TOXICA. Frases (R) 12-26. Frases (S) 27-29-33-43-45 Real Decreto 2216/1985 (10.5).

#### 4.2.2. Benceno

**PRECAUCIÓN:** SUSTANCIA TOXICA Y FÁCILMENTE INFLAMABLE. Frases (R) 11-23/24-39. Frases (S) 45-11-23-24/25-48 Real Decreto 2216/1985 (10.5).

#### 4.2.3. n-Hexano

**PRECAUCIÓN:** SUSTANCIA FÁCILMENTE INFLAMABLE Y NOCIVA. Frases (R) 11-20-21-40. Frases (S) 11-20/21-48. Real Decreto 2216/1985 (10.5).

#### 4.2.4. Tolueno

**PRECAUCIÓN:** SUSTANCIA FÁCILMENTE INFLAMABLE Y NOCIVA. Frases (R) 11-20. Frases (S) 16-25-29-33. Real Decreto 2216/1985 (10.5).

### 4.3. Disoluciones

#### 4.3.1. Disolución para desorción de benceno en sulfuro de carbono al 0,05 % (V/V).

#### 4.3.2. Disoluciones patrón para calibración en concentraciones similares a la muestra a analizar preparadas según 7.2.

## 5. APARATOS Y MATERIAL

### 5.1. Aparatos y material para la toma de muestra

### 5.1.1. Sistema de captación

El sistema consta de (figura 1):

- Un tubo de 1 m de longitud y 26 mm de diámetro, conectado a una boquilla desechable con una válvula que se abre al entrar el aire exhalado a través del sistema y se cierra al finalizar la exhalación. El tubo está calorifugado y recubierto por una camisa aislante de 15 mm de espesor que permite mantener la temperatura a 40°C - 45°C.
- Una válvula de tres vías que está conectada a:
  - I. extremo del tubo de Haldane-Priestley donde está insertada la boquilla (aproximadamente a 5 cm de la misma);
  - II. jeringa de gases de 50 ml instalada en un sistema de cremallera que permite el llenado y vaciado de la misma;
  - III. tubo adsorbente (5.2.1.).

Como se describe en la figura 1, el sistema está basado en la posibilidad de invertir el giro del motor que acciona la jeringa, con lo que ésta realiza alternativamente movimientos de aspiración de aire exhalado e impulsión hacia el tubo adsorbente, mediante el cambio automático de la posición de la válvula de tres vías.

El mecanismo de control de la válvula de tres vías, según se detalla en la figura 1 permite abrir las vías I y II durante la etapa de aspiración de aire exhalado desde el tubo de Haldane-Priestley, manteniendo la vía III cerrada. En una segunda etapa mantiene abiertas las vías II y III para hacer pasar el aire exhalado aspirado en la etapa anterior a través del tubo adsorbente, manteniendo cerrada la vía I.

### 5.1.2. Tubos adsorbentes

Se utilizan tubos de vidrio de 5 mm de diámetro y 70 mm de longitud, rellenos de carbón activo granulado de 20/40 mallas. El carbón activo se divide en dos secciones de 50 mg cada una, separadas por lana de vidrio. La segunda sección sólo se utiliza para comprobar la posible saturación de la primera.



## 5.2. Aparatos y material para el análisis

**5.2.1. Tubos de ensayo** con tapón roscado y junta de politetrafluoroetileno.

**5.2.2. Cromatógrafo de gases** con detector de ionización de llama capaz de detectar una inyección de 2 ng de n-hexano con una relación señal-ruido de al menos 5 a 1 para una atenuación de 16 x 1..

**5.2.3. Columna cromatográfica** de acero inoxidable de 6 m x 3,13 mm de diámetro externo, rellena con 10 % de FFAP sobre Chromosorb W AW DMCS 80/100 mallas o cualquier otra capaz de separar los analitos de interés.

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



## 6. TOMA DE MUESTRA

**6.1.** Romper los extremos cerrados del tubo adsorbente (5.1.2.) que contiene las dos secciones de carbón activo 20-40 mallas e insertarlo en el sistema de captación (5.1.1.), asegurando su hermeticidad.



**6.2.** Después de que el individuo al que se tomará la muestra, realice dos o tres respiraciones profundas y seguidas, deberá mantener el aire de la última inhalación durante 10-15 segundos antes de realizar una exhalación prolongada y total a través del tubo de aluminio del sistema (5.1.1. y figura 1). El ritmo de esta exhalación debe ser lento y continuado, en cualquier caso la realización de dos o tres experiencias previas, sirve para adecuar la velocidad de esta exhalación.



**6.3.** Una vez finalizada la exhalación se hace pasar por el tubo adsorbente y por medio de la jeringa (véase figura 1), 4 alícuotas de 50 ml cada una.



**6.4.** El procedimiento descrito en 6.2 y 6.3 puede repetirse cinco veces sin cambiar el tubo adsorbente, con lo cual se obtendrá un volumen total de 1 litro, que es el volumen de muestra recomendado en condiciones normales. Si se conoce que las concentraciones son más bajas, se pueden muestrear volúmenes de aire exhalado mayores, repitiendo el procedimiento descrito las veces necesarias.



**6.5.** Para calcular el volumen total de aire exhalado que se ha hecho circular por cada tubo adsorbente, se tomará nota del volumen de la jeringa, del número de alícuotas recogidas en cada exhalación y en su caso, del número de veces que se repite el procedimiento completo sin cambiar el tubo adsorbente.

**6.6.** Una vez terminado el muestreo se tapan ambos extremos del tubo asegurando la hermeticidad del mismo.

**6.7.** Durante el transporte, las muestras no deben someterse a temperaturas elevadas, y debe impedirse el contacto con productos que puedan contener componentes orgánicos volátiles.

**6.8.** En las condiciones de validación del [anexo A](#), el almacenamiento durante dos semanas a temperaturas ambiente no produce pérdidas significativas. El almacenamiento durante periodos mayores deberá comprobarse previamente y en cualquier caso es recomendable realizarlo en refrigerador.

## 7. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

### 7.1. Preparación de muestras y blancos

Añadir 0,250 ml de la disolución desorbente ([4.3.1.](#)), medidos con una micropipeta de precisión, a un tubo con tapón roscado y cerrarlo inmediatamente. Hacer una muesca en el tubo de carbón delante de la primera sección de carbón activo y romper el tubo. Se saca y se desecha la lana de vidrio. Añadir la primera sección del carbón al tubo con la disolución desorbente y volver a cerrar. Agitar el tubo ocasionalmente durante un período de 30 minutos para asegurarse que la desorción sea máxima. Repetir el mismo procedimiento para la segunda sección de carbón utilizando otro tubo roscado.

### 7.2. Calibración

**7.2.1. Preparación de la disolución patrón.** Es aconsejable preparar esta disolución en concentraciones similares a las que se vayan a determinar en las muestras, expresando estas concentraciones en términos de mg/ml de disolución desorbente. Pueden utilizarse microjeringas de precisión, si se conoce la densidad de los compuestos. Esta disolución patrón debe prepararse por triplicado y se analiza como las muestras.

### 7.3. Análisis cromatográfico

#### 7.3.1. Condiciones cromatográficas

Las condiciones típicas de trabajo son las siguientes:

Gas portador, nitrógeno:	35 ml/min
Hidrógeno:	35 ml/min
Aire sintético:	220 ml/min
Temperatura del inyector:	200 °C
Temperatura del horno:	110 °C
Temperatura del detector:	200 °C

#### 7.3.2. Inyección

Se inyectan en el cromatógrafo alícuotas de 1 a 5 µl de las disoluciones resultantes de la desorción de las muestras y de la disolución patrón.

El área de los picos correspondientes a los analitos y el patrón interno se miden, tanto en las muestras como en la disolución patrón, con un integrador electrónico u otro método equivalente:

### 7.4. Determinación de la eficacia de desorción

La eficacia de desorción de los vapores de estos compuestos puede variar con el tipo y lote de carbón usado, siendo necesario

calcularla para cada lote de carbón y para cada analito en el intervalo de concentraciones de la muestra.

Para calcular dicha eficacia de desorción, se inyectan diferentes cantidades de los analitos de interés en al menos tres tubos conteniendo 50 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 a 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 0,250 ml de disolución desorbente, con la misma microjeringa utilizada en la preparación de las muestras.

Tanto los tubos blancos como los de las muestras se desorben con 0,250 ml de disolución desorbente de la forma descrita en 4.3.1. analizando dichas disoluciones, así como las disoluciones patrón, de la misma manera que se ha descrito en el apartado 7.3.2.



## 8. CÁLCULOS

### 8.1. Cálculo de la eficacia de desorción

La eficacia de desorción (ED) se calcula 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 (7.4.).

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

En base a los datos de validación del [anexo A](#), estos valores son de 1,01 para n-hexano y 0,98 para tolueno.



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

#### 8.2.1. Determinación del factor de respuesta.

Se calcula el factor de respuesta para los analitos y el patrón interno con los datos obtenidos al analizar las disoluciones patrón (7.2.1.), según el procedimiento descrito en 7. mediante la expresión:

$$\bar{F}_R = \frac{m}{\bar{A}}$$

donde:

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

$\bar{A}$  es el área promedio correspondiente al pico del analito o patrón interno en las disoluciones patrón

#### 8.2.2. Determinación del factor de respuesta relativo.

Se determina el factor de respuesta relativo para cada analito según la expresión:

$$f_i = \frac{\bar{F}_R \text{ analito}}{\quad}$$

### 8.2.3. Determinación de la concentración de cada analito en la disolución de desorción.

Se determina la concentración en mg/ml de cada analito en la disolución de desorción según la expresión:

$$c_i = \frac{A_i c_0 f_i}{A_0}$$

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

$c_0$  es la concentración de patrón interno en mg/ml de disolución desorbente.

$A_i$  es el área correspondiente al pico de cada analito.

$A_0$  es el área correspondiente al pico del patrón interno.

$f_i$  es el factor de respuesta relativo.

### 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:

$$m_s = \frac{C_f + C_p - C_b}{ED} V_d$$

$m_s$  es la cantidad 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 exhalado

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

$$C_{ae} = \frac{m_s}{V}$$

donde:

$C_{ae}$  es la concentración de analito en el aire muestreado en mg/m<sup>3</sup>.

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

$V$  es el volumen de aire muestreado en m<sup>3</sup>.

La concentración de analito en aire exhalado, expresada en ppm, se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$C_{ppm} = C_{ae} \times \frac{24,0}{M} \times \frac{101,30}{P} \times \frac{t + 273,15}{293,15}$$

donde:

P es la presión del aire muestreado en kPa ( $10^3$  N/m<sup>2</sup>).

t es la temperatura del aire muestreado en °C.

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

## 9. PRECISIÓN

El coeficiente de variación del método calculado a partir de los datos intralaboratorio de muestras captadas en atmósferas de n-hexano y tolueno de concentraciones conocidas, es inferior al 7% en todo el intervalo de aplicación del método (tabla 1 del anexo A).

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- 10.1. F. Periago, A. Luna, A. Morente, A. Zambudio. **Design and evaluation of an exhaled breath sampler for biological monitoring of organic solvents**. J. Appl. Toxicol. 12 (2),91-96,1992
- 10.2. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. **Protocolo de validación para la determinación de vapores orgánicos en aire exhalado**. MTA/PV-IV/92
- 10.3. Wilson H.K. **Exhaled air: Physiological basis and sampling techniques**. Scand. J. work. Environ. Health 12, 174-192, 1986
- 10.4. F. Periago. **Control Biológico de disolventes mediante aire exhalado**. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, serie Documentos Técnicos, 63:91, 1991
- 10.5. Real Decreto 2216/1985<sup>(1)</sup> de 23-10 (Presid BB.OO. 27-2-85, rect. 9-5-86) "**Reglamento sobre declaración de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas**". Actualizado por Orden de 9-12-92 (M. Relac. Cortes B.O.E. 17-12-92).

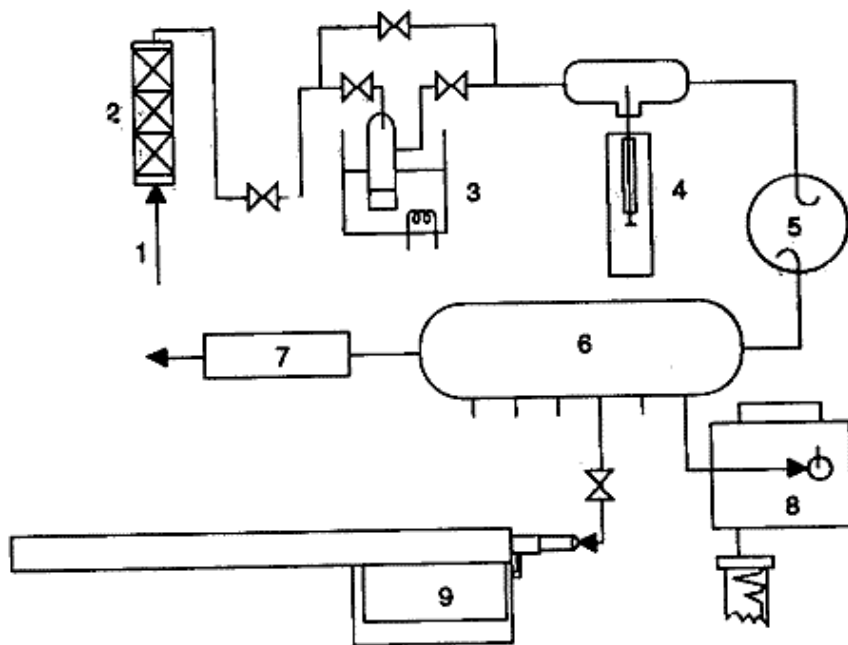
## ANEXO A RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DEL MÉTODO

### A.1. ESTUDIO EN ATMÓSFERA CONTROLADA

**A.1.1. Atmósfera controlada.** Se ha utilizado el sistema descrito en la figura 2, mediante inyección dinámica con jeringa. Se utilizó n-hexano y tolueno de calidad analítica. El sistema de captación se conectó a la salida de la cámara de captación de la instalación de atmósferas controladas.

**Figura 2**  
**Sistema para generar la atmósfera controlada**





- (1) entrada de aire; (6) cámara de muestreo;  
 (2) filtro; (7) sensor de humedad;  
 (3) humidificador; (8) cromatógrafo de gases;  
 (4) inyector automático; (9) sistema de captación de aire exhalado;  
 (5) cámara de mezcla;

#### A.1.2. Condiciones estudiadas

Volumen de Muestreo:

100 ml

200 ml

300 ml

Humedad Relativa:

46 %

100 %

Concentración de isoflurano en aire:

n-Hexano	Tolueno
12,2 mg/m <sup>3</sup>	12,4 mg/m <sup>3</sup>
24,2 mg/m <sup>3</sup>	24,9 mg/m <sup>3</sup>
48,8 mg/m <sup>3</sup>	49,8 mg/m <sup>3</sup>
110,1 mg/m <sup>3</sup>	115,5 mg/m <sup>3</sup>

#### A.1.3. Eficacia de desorción

Se determinó mediante el coeficiente de recuperación obtenido en 6 tubos adicionales obteniéndose los siguientes valores:

ED (n-hexano) = 1,01

ED (tolueno) = 0,98

#### A.1.4. Velocidad del aire en la cámara de captación:

0,7 - 1 m/s

#### A.1.5. Estudio muestreo-análisis

La influencia que puede tener en la captación el volumen de muestra recogido, la humedad, la concentración y el almacenamiento, se estudió mediante el análisis de varianza de las recuperaciones obtenidas en cada caso, calculadas según la expresión:

$$r = \frac{C_t}{C_A}$$

donde:

$C_t$  es la concentración obtenida mediante el análisis de las muestras.

$C_A$  es la concentración teórica de la atmósfera.

En la [tabla 1](#) se exponen los resultados y condiciones experimentales utilizadas en el estudio de muestreo y análisis y en la [tabla 2](#), los resultados del análisis de varianza de las recuperaciones obtenidas en estas experiencias.

### A.1.6. Almacenamiento

Los resultados obtenidos en los ensayos de almacenamiento durante 15 días se exponen en la [tabla 1](#), cuando se mantuvieron durante este periodo de tiempo tubos muestreados en las condiciones máximas de humedad y concentración.

## A.2. ESTUDIOS DE PERSONAS EXPUESTAS

**A.2.1.** Se realizaron determinaciones consecutivas en personas no expuestas laboralmente a n-hexano y tolueno, mediante inhalación directa de una atmósfera controlada de estos disolventes. En la [tabla 3](#), se exponen los resultados obtenidos

**A.2.2.** Se realizaron determinaciones a un mismo individuo expuestos a n-hexano y tolueno, bajo diferentes condiciones experimentales de captación. Los resultados y condiciones operatorias se describen en la [tabla 4](#).

**Tabla 1**

**Condiciones experimentales y resultados del estudio muestreo y análisis en atmósferas controladas de n-hexano y tolueno**

Volumen captación (litros)	Humedad relativa	Concentración (mg/m <sup>3</sup> )		Recuperación $C_t/C_A$ (a)	
		n-Hexano	Tolueno	n-Hexano	Tolueno
0,1	50%	26,8	27,4	0,994 ±0,076 (6)	1,005 ±0,085 (6)
0,2	50%	26,8	27,4	0,970 ±0,082 (6)	0,997 ±0,078 (6)
0,3	50%	26,8	27,4	0,946 ±0,072 (6)	0,986 ±0,092 (6)
1 (5x0,2)	46%	27,9	28,5	0,969 ±0,103 (6)	0,991 ±0,077 (6)
1 (5x0,2)	100%	29,4	24,9	0,987 ±0,111 (6)	0,984 ±0,098 (6)
1 (5x0,2)	100%	12,2	12,4	0,972 ±0,028 (6)	0,976 ±0,052 (6)
1 (5x0,2)	100%	24,4	24,9	0,977 ±0,058 (6)	0,990 ±0,051 (6)
1 (5x0,2)	100%	48,8	44,8	0,979 ±0,074 (6)	0,981 ±0,049 (6)
1 (5x0,2)	100%	110,1	115,1	0,974 ±0,025 (6)	0,982 ±0,016 (6)
1 (5x0,2)	100%	110,1	115,1	0,977 (n=2) <sup>(b)</sup>	0,978 (n=2) <sup>(b)</sup>

$C_t$ : Concentración obtenida en el tubo adsorbente.

$C_A$ : Concentración de la atmósfera controlada.

(a): Media ±desviación típica (número de muestras).

(b): Muestras analizadas 15 días después de ser tomadas.

**Tabla 2**

**Resultados del análisis de varianza de las recuperaciones obtenidas en las experiencias realizadas en atmósferas controladas**

Fuente de variación	g.l.	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F calculada	Prueba F
n- Hexano					

Volumen captación	2	9,590149E-03	4,795075E-03	0,8933056	NS
Error	15	8,051681 E-03	5,367788E-03		
Humedad relativa	1	7,219315E-04	7,219315E-04	6,477171 E-02	NS
Error	10	0,1114578	1,114578E-02		
Concentración	3	1,201630E-04	4,005432E-05	1,535818E-02	NS
Error	20	5,216027E-02	2,608013E-03		
<b>Tolueno</b>					
Volumen captación	2	0,1060906	5,304528E-02	1,124113	NS
Error	15	0,7078285	4,718857E-02		
Humedad relativa	1	1,773834E-04	1,773834E-04	0,0224318	NS
Error	10	7,907677E-02	7,907676E-03		
Concentración	3	4,692078E-04	1,564026E-04	8,943666E-02	NS
Error	20	3,497505E-02	1,748753E-03		

NS = No significativo al 5%  
g.l. = Grados de libertad

**Tabla 3**

**Resultados del análisis de determinaciones consecutivas de n-hexano y tolueno en muestras de aire exhalado tomadas a 1 y 5 horas de finalizar la exposición. Todos los resultados se expresan en mg/m<sup>3</sup>**

	Sujeto 1		Sujeto 2	
	n-Hexano	Tolueno	n-Hexano	Tolueno
Concentración de la atmósfera	149,10	292,30	131,20	250,20
Concentración en aire exhalado (A)	3,05	5,84	2,91	7,05
	3,20	6,25	2,09	5,47
	2,53	4,39	2,99	6,41
	2,08	5,63	2,68	6,30
Media	2,71	5,49	2,66	6,31
S.D.	0,51	0,97	0,40	0,64
Concentración en aire exhalado (B)	0,80	1,34	0,67	2,18
	0,76	1,48	0,67	2,48
	0,80	1,68	0,66	2,01
	0,72	1,87	0,75	2,09
Media	0,77	1,59	0,68	2,19
S.D.	0,03	0,23	0,04	0,20

(A): Muestras tomadas 1 hora después de finalizar la exposición.

(B): Muestras tomadas 5 horas después de finalizar la exposición.

**Tabla 4**

**Determinación de n-hexano y tolueno en el aire exhalado de un mismo sujeto bajo diferentes condiciones experimentales de captación. Los resultados se expresan en mg/m<sup>3</sup>**

Condiciones de muestreo	A		B		C	
	n-hexano	tolueno	n-hexano	tolueno	n-hexano	tolueno
(1)	7,41	8,49	6,91	7,68	7,75	8,51

(5)	0,78	1,56	0,80	1,68	0,72	1,87
-----	------	------	------	------	------	------

A: Un volumen de 0,3 litros de aire procedente de una exhalación.

B: Un volumen de 0,3 litros de aire procedente de 6 exhalaciones consecutivas (50 ml de cada una).

C: Un volumen de 0,6 litros de aire procedente de 12 exhalaciones sucesivas (50 ml de cada una).

(1): Muestras tomadas 1 hora después de la exposición.

(5): Muestras tomadas 5 horas después de la exposición.



---

## ADENDA

### Revisión normativa

La disposición siguiente han sufrido modificaciones después de la edición de este método en formato papel:

(<sup>1</sup>) Real Decreto 2216/1985: Derogado por el [Real Decreto 363/1995](#)



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 - 9 44 990 543 Fax 944 990 678

Correo electrónico.- [cnvminsht@mtas.es](mailto:cnvminsht@mtas.es)