

# Análisis Higiene.



## **NUEVOS MUESTREADORES PERSONALES PARA HIGIENE INDUSTRIAL**

**Enrique González Fernández  
Javier Mena Rojo  
Manuel Ruiz Cueto y  
José N. Tejedor Traspaderne**

**Higiene Industrial  
G.T.P. e I.T.M. de Madrid**

La medida de las concentraciones de exposición en los ambientes de trabajo tienen primerísima importancia ya que la conformidad con los límites fijados legalmente se basa en la comparación de los niveles existentes de exposición con los valores estipulados.

Para adoptar un límite legal de exposición hay que disponer de procedimientos válidos reproducibles y comprobados para la toma y análisis del contaminante o contaminantes en particular.

Los dispositivos usados en el muestreo para evaluar el riesgo higiénico en ambientes laborales se clasifican generalmente de acuerdo con los siguientes tipos:

1. *De lectura directa (tubos colorimétricos).*
2. *Los que captan el contaminante a partir de una cantidad medida de aire, y*
3. *Los que recogen un volumen de aire conocido para posterior análisis en el laboratorio (cilindros, bolsas de plástico, etc.).*

Los más utilizados generalmente por los higienistas industriales son los encuadrados en el 1º y 2º apartado. La elección de un método de muestreo en particular depende de numerosos factores entre los que se pueden destacar: facilidad para su transporte y uso, eficacia en la captación, reproducibilidad del sistema bajo las condiciones a que es sometido en el lugar de la toma de muestra.

que la especie química recogida permanezca en su forma estable durante el transporte, que requiera una mínima manipulación en el campo, tipo de análisis e información que se desea, que sea comercialmente asequible y por último se puede considerar la elección personal basada en experiencias anteriores.

En cualquier caso el sistema de muestreo utilizado debe satisfacer los requerimientos necesarios de: sensibilidad, exactitud, reproducibilidad y preferiblemente rapidez en el resultado obviando procesos laboriosos de extracción y preparación en general, para su análisis.

Este trabajo se concreta y ciñe a la toma de muestra de gases y vapores (orgánicos e inorgánicos) con los llamados "muestreadores pasivos". Basados en los primeros estudios realizados por Palmes (1) en el año 1973 se empezaron a desarrollar en el año 1977 y están tomando auge en nuestros días debido a una serie de ventajas comprobadas frente a los sistemas más convencionales que hasta ahora estamos utilizando los higienistas industriales.

## FUNDAMENTO DE LOS MUESTREADORES PASIVOS

Físicamente, los muestreadores pasivos consisten en un lecho adsorbente separado del ambiente exterior por una barrera en la que se han practicado unos orificios de superficie y longitud conocidos. La cantidad de contaminante recogida en el lecho está controlada por la longitud y el diámetro de los orificios y por el tamaño o peso molecular del contaminante (2, 3). Debido a la existencia de un gradiente de concentración entre el exterior de la barrera y la superficie del adsorbente, los vapores se difunden a través de los orificios por difusión molecular y se adsorben en el lecho. De acuerdo con la primera ley de Fick de la difusión, la cantidad de contaminante recogida es función de la velocidad de muestreo,  $(DA/L)$  ( $\text{cm}^3/\text{min}$ ), la concentración ambiental,  $C$  ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) y el tiempo de muestreo.

$$M(\text{ng}) = \frac{D A}{L} \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \times C \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times t (\text{min})$$

La velocidad de muestreo es directamente proporcional al coeficiente de difusión,  $D$ , del vapor orgánico, y el área,  $A$ , de los orificios e inversamente proporcional a la longitud,  $L$ , de los mismos.

La teoría cinética de los gases indica que el coeficiente de difusión es función de la temperatura y la presión de acuerdo con

$$D = f \frac{T^{3/2}}{P}$$

La cantidad de contaminante recogido, sin embargo

se puede demostrar que es independiente de la presión y sólo ligeramente dependiente de la temperatura (2, 3) ya que al ser función del coeficiente de difusión y la concentración ambiental y ésta a su vez función de la presión y la temperatura, tenemos que,

$$M = f(D \times C) \quad C = f \frac{P}{T} \quad M = f(T^{1/2} \times P^0)$$

Este efecto de la temperatura se puede corregir (2) reduciendo la concentración determinada experimentalmente en un 1% por cada  $5^\circ\text{C}$  por encima de  $25^\circ\text{C}$  y aumentándola en un 1% por cada  $5^\circ\text{C}$  por debajo de  $25^\circ\text{C}$ .

Cuando en lugar de una barrera con orificios o una membrana porosa es una membrana permeable lo que aísla el lecho adsorbente del ambiente exterior, el fenómeno que controla la captación de contaminante no es la difusión, sino la permeación (4). En este caso los vapores de contaminante se disuelven en la membrana y son transportados a través de ella al lecho de adsorción.

Cuando el fenómeno que controla la captación del contaminante es la difusión molecular, es necesario un cierto movimiento del aire, unos 10  $\text{m}/\text{min}$ , con el fin de evitar gradientes de concentración en la superficie del muestreador (3, 5). Por encima de esta velocidad y hasta unos 130  $\text{m}/\text{min}$ , la cantidad de contaminante recogido es independiente de la velocidad del aire. Sin embargo, si el fenómeno que controla la captación de contaminante es la permeación no existe ninguna limitación en cuanto a la velocidad del aire, pudiendo muestrearse incluso en ambientes estacionarios (4, 6). En este caso un muestreador provisto de una membrana de área,  $a$ , y espesor,  $L$ , recogería una cantidad de contaminantes (7)

$$\frac{P \cdot a \cdot p_1}{L} \text{ mol s}^{-1}$$

siendo  $P$  el coeficiente de permeabilidad y  $p_1$  la presión parcial del contaminante en el ambiente.

## ANALOGÍAS Y DIFERENCIAS ENTRE LOS MUESTREADORES PASIVOS Y LOS CONVENCIONALES

Los muestreadores pasivos presentan una serie de características similares a los tubos de carbón activo utilizados para el mismo fin, y tienen por tanto parte de sus ventajas e inconvenientes.

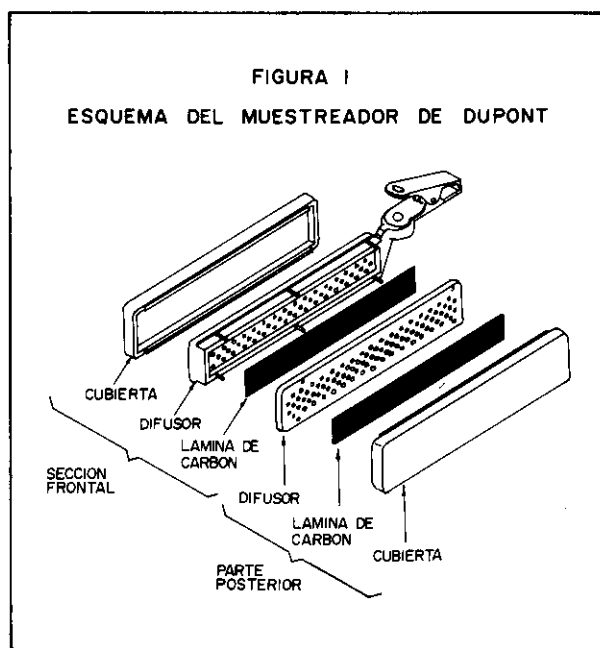
Las principales ventajas de ambos tipos de muestreadores son: (8)

- La cantidad de contaminante adsorbida es directamente proporcional a la concentración ambiental.

- Las eficacias de adsorción-desorción son altas y reproducibles para la mayoría de los compuestos orgánicos.
- La mayoría de las mezclas de contaminantes se pueden muestrear con la misma eficacia que los ambientes con un único contaminante (9).
- Las eficacias de adsorción-desorción son relativamente independientes del lote de carbón y de las fluctuaciones normales de temperatura.

Y los principales inconvenientes:

- La cantidad recogida debe exceder un mínimo para ser correctamente cuantificada.
- Cuando la impregnación del carbón excede de un cierto máximo, la eficacia de adsorción-desorción disminuye considerablemente.



- Si el tiempo de exposición es excesivo, puede haber pérdidas de los vapores ya adsorbidos por desorción o por saturación del lecho. Du Pont (10) ha comercializado un muestreador pasivo, que de modo similar a los tubos de carbón dispone de una segunda parte (Fig. 1) con lo que aumenta el tiempo de utilización o la cantidad de contaminante que se puede recoger y en cualquier caso suministra la información que una segunda parte de un tubo de carbón puede dar.
- Hay que calcular las eficacias de adsorción-desorción para cada contaminante que se quiera analizar.

En cuanto a las diferencias entre ambos muestreadores, las más significativas son:

- La toma de muestra con tubos de carbón necesita el uso de una bomba personal. Los muestreadores pasivos no.
- Cuando se utilizan bombas personales es necesario calibrarlas rutinariamente.
- El peso de un muestreador pasivo es de unos 10-20 gramos y no necesita accesorios de ningún tipo. El muestreo con tubos de carbón requiere un tubo de plástico de aproximadamente 1 m y la bomba correspondiente. Por lo tanto este sistema de muestreo resulta menos cómodo y de mayor peso.
- Los muestreadores pasivos que actúan por difusión requieren un cierto movimiento del aire para evitar la formación de gradientes de concentración. Los que actúan por permeación o los tubos de carbón no lo necesitan.
- Los tubos de carbón se utilizan normalmente para periodos de muestreo inferiores a una hora. Los muestreadores pasivos para periodos de 2-6 horas.
- En el caso de los muestreadores de vapores de mercurio, es necesario enviarlos a los laboratorios de 3M, U.S.A., para su análisis.

## DESCRIPCION DE LOS MUESTREADORES PARA VAPORES ORGANICOS. EXPERIENCIAS REALIZADAS

La fotografía nº 1 corresponde al muestreador para vapores orgánicos nº 3500 fabricado por 3M, Saint Paul, Minnesota, U.S.A. Está diseñado para la medida de las concentraciones ambientales de vapores orgánicos ponderados en el tiempo (TWA) durante las ocho horas de la jornada laboral, aunque por supuesto puede emplearse para exposiciones más cortas. Este muestreador se prende mediante la pinza en la solapa del trabajador a la altura de las vías respiratorias. Está protegido por un papel de aluminio, que se quita al iniciar el muestreo. Una vez concluido éste se separa la membrana y la anilla que la sujeta a la base y se protege de la contaminación con una cubierta como aparece en el muestreador de la derecha en la fotografía nº 1. La desorción de los contaminantes se realiza habitualmente con sulfuro de carbono, sin necesidad de separar la lámina de carbón del cuerpo del muestreador, ya que la cubierta mencionada anteriormente está diseñada para realizar la desorción. La cantidad mínima de contaminante necesaria para poder ser correctamente evaluada depende del método analítico utilizado y es del orden de 1-2 ppm-hora. La cantidad



FOTO 1 Muestreador pasivo de 3M para vapores orgánicos

máxima que se puede determinar sin peligro de pérdidas depende de la volatilidad del contaminante y es del orden de 500-3000 ppm-hora.

La fotografía nº 2 corresponde al muestreador para vapores orgánicos Pro-Tek, comercializado por E.I. Du Pont de Nemours and Co., Wilmington, Delaware 19898, U.S.A. Este muestreador está controlado por difusión y se fabrica en dos versiones, una de ellas, la G-BB, está formada por dos secciones de carbón activo, de modo similar a los tubos de carbón utilizados en el muestreo de vapores orgánicos y corresponde al representado esquemáticamente en la fig. 1. Al iniciar el muestreo se separa la cubierta correspondiente a la sección frontal y se vuelve a proteger con la misma cubierta al finalizar aquél. La desorción de los vapores orgánicos recogidos se realiza también con sulfuro de carbono, pero es preciso trasladar las láminas de carbón a sendos viales.

La otra versión, la G-AA, difiere únicamente de la representada en la figura 1, en que no lleva la lámina de carbón activo correspondiente a la segunda sección, pero sí todas las cubiertas representadas, de tal manera que al muestrear se puede elegir entre quitar una sola de las cubiertas o las dos, dependiendo de las concentraciones que esperen encontrar en el ambiente, del tiempo de muestreo y de la velocidad del aire. Así, por ejemplo, se recomienda muestrear con una de las cubiertas quitada (5) cuando se esperan concentraciones entre 100-4000 ppm-hora, la humedad relativa es mayor del 90%, la velocidad del aire es inferior a 10 m/min o se esperan circunstancias especiales, caso de una adsorción defi-

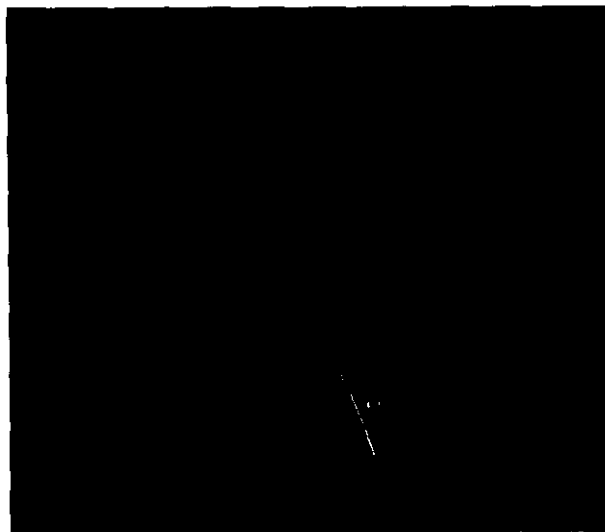
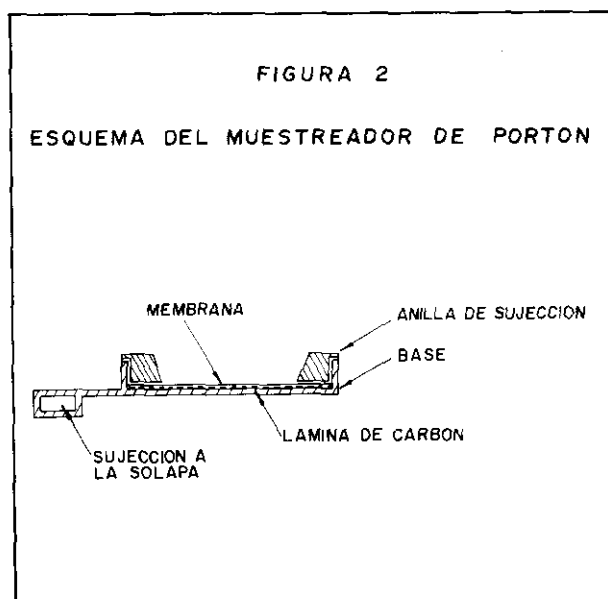


FOTO 2 Muestreador pasivo de Du Pont para vapores orgánicos

ciente o emigración del contaminante. También cuando se quiere muestrear durante periodos de tiempo muy largos, de hasta 24 horas.

Cuando las concentraciones que se esperan son del orden de 0,2-100 ppm-hora, la humedad relativa es menor del 90% y la velocidad del aire es mayor de 10 m/min, o bien se quiere valorar durante periodos cortos, de unos 15 min. o el TLV del compuesto que se quiere determinar es muy pequeño, es conveniente muestrear con ambas cubiertas separadas del muestreador.



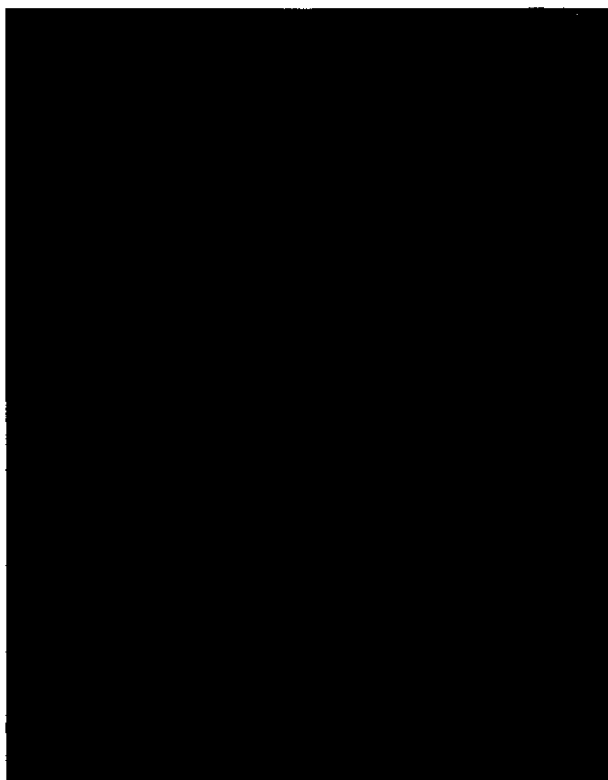


FOTO 3. Muestreador pasivo de Porton Down para vapores orgánicos.

La fotografía nº 3 corresponde al muestreador de difusión de Porton Down. Salisbury, Wiltshire, G. B. Esquemáticamente está representado en la figura 2 y consta de una lámina de carbón protegida por una membrana sujeta a la base del muestreador por una anilla. El fenómeno que controla la captación de contaminante depende de la naturaleza de la membrana, es por difusión si la membrana es una película de polipropileno porosa o por permeación si se trata de una membrana de silicona (7). Este muestreador se ha utilizado con buenos resultados para vapores de tetracloruro de carbono, estireno, metil etil cetona y halotano.

El muestreador esquematizado en la figura 3 corresponde al diseñado por Abcor Inc. Walden Division, 850 Main St. Wilmington, Mass 01887, U.S.A. La adsorción de contaminante está controlada por difusión y consta de una lámina de lana de vidrio impregnada de carbón activo, un separador de celdas, un frente y la cubierta de aluminio (3,8).

Por último, en la universidad de Baton Rouge, Louisiana, se diseñó un muestreador controlado por permeación para la captación de cloruro de vinilo (4,11) y

en el Instituto de Investigación de la Gulf, New Orleans, Louisiana otro controlado por difusión para el muestreo de compuestos clorados (12).

Con frecuencia se han contrastado este tipo de muestreadores frente a tubos de carbón activo convencionales (2,8, 13-15) tanto en atmósferas controladas como en puestos de trabajo reales. En todos los casos se ha comprobado que cuando se trabaja correctamente con los muestreadores pasivos (aislamiento antes del muestreo, no saturación del lecho, y protección contra la contaminación una vez acabado el muestreo) los resultados son consistentes con los obtenidos con tubos de carbón trabajando en condiciones óptimas.

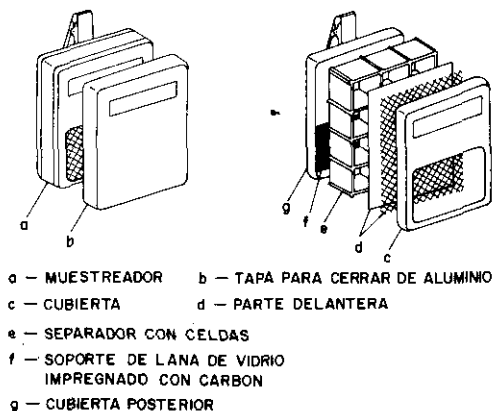
Las experiencias preliminares realizadas en el Departamento de Higiene Industrial encaminados a comparar los resultados obtenidos con los muestreadores pasivos 3500 de 3M y tubos de carbón activo se dan en la tabla I.

**TABLA I**  
**RESULTADOS OBTENIDOS EN EL MUESTREO**  
**DE VAPORES ORGANICOS**

Compuesto	Tiempo de muestreo (h)	Concentración (ppm-hora)	
		3M	TCA
Tricloroetileno	2	446	541
		487	
Estireno	9,25	98	82
	9,25	4,6	4,0
	9,25	151	133
	9	76	72
	9	35	34
	9	53	45
	9	51	
	9	228	195
9	205		

# Higiene.

FIGURA 3  
ESQUEMA DEL MUESTREADOR DE ABCOR



Dado que este tipo de muestreadores no se puede analizar más que en los laboratorios 3M. U.S.A. se anota el tiempo de duración del muestreo en el mismo sobre que sirve para su envío.

3M ha desarrollado dos tipos de muestreadores para vapores de mercurio. Uno es el mencionado anteriormente y otro es el N° 3600 A para la toma de muestra en la industria cloro-álcali, es decir, en presencia de vapores de cloro. Esencialmente son y operan lo mismo pero el N° 3600 A lleva una película protectora que inhibe las interferencias del cloro hasta 10 ppm para una jornada de 8 horas (10 veces el TWA del cloro). El principio de operación (16) para ambos tipos está basado en la difusión, adsorbiéndose los vapores de mercurio cuantitativamente, en relación con la concentración ambiental, en la superficie de oro (99,95% de pureza) que llevan los muestreadores. Una vez acabada la exposición el análisis se basa en la medida de la diferencia de conductividad producida en la amalgama que se relaciona con la cantidad de mercurio recogida.

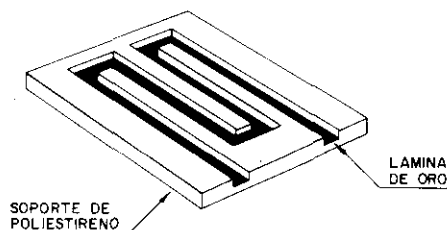
La superficie activa del muestreador es la que se representa en la figura N° 4 en donde la lámina de oro va hendida en un soporte de poliestireno el cual proporciona una protección a la contaminación en el manejo y abrasión física. Esta disposición hace a su vez de circuito eléctrico definido sobre el cual se mide la conductividad. El rango de concentración de trabajo es de 0,00-0,20 mg Hg/m<sup>3</sup> de aire, con una precisión mayor del 5% de coeficiente de variación al nivel de 0,10 mg/m<sup>3</sup> de aire, y un límite de sensibilidad de 0,005 mg Hg/m<sup>3</sup>. La exactitud en el muestreo es de 6% para lugares con velocidades de aire entre 10-130 m/min. Las interferencias debidas a la existencia de gases ambientales tales como CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, etc. son despreciables, no interfiriendo por lo general los vapores orgánicos. Para el Mod. N° 3600 interfieren los oxidantes fuertes tales como vapores de halógenos.

FOTO 4 Muestreador pasivo de 3M para vapores de mercurio

## DESCRIPCION DE LOS MUESTREADORES PARA VAPORES DE MERCURIO. EXPERIENCIAS REALIZADAS

La fotografía n° 4 corresponde al muestreador para vapores de mercurio N° 3600 fabricado por la casa 3M, Saint Paul, Minnesota, U.S.A. Está diseñado para la medida de las concentraciones de mercurio ponderadas en el tiempo (TWA) durante las 8 horas de trabajo, pudiéndose utilizar para tiempos más cortos. Por medio de la pinza se coloca en la solapa del trabajador a la altura de las vías respiratorias.

FIGURA 4  
ESQUEMA DEL INTERIOR DEL MUESTREADOR 3 M PARA VAPORES DE MERCURIO



Los dos tipos de muestreadores para vapores de mercurio, el N° 3600 y 3600 A han sido estudiados por diversos autores y ensayados en distintos tipos de posible riesgo laboral a este contaminante como son salas de dentistas a puestos de trabajo de la industria pesada. Ejemplos de estos trabajos están recogidos en las referencias (17,18). Por otra parte estos muestreadores han sido evaluados y contrastados frente a otros sistemas de toma de muestra principalmente frente a tubos de carbón activo (19,20). En este sentido se han dirigido los trabajos preliminares realizados en el Instituto Territorial de Madrid utilizando el monitor N° 3600 de 3M y tubos de carbón activo de MSA para la toma de muestra de vapores de mercurio (Mercury Vapor Sampling Tubes, Part. N° 459003, Mine Safety Appliances Co.) en puestos de trabajo dedicados al llenado y cierre de ampollas con mercurio metal. Los resultados obtenidos se dan en la tabla II.

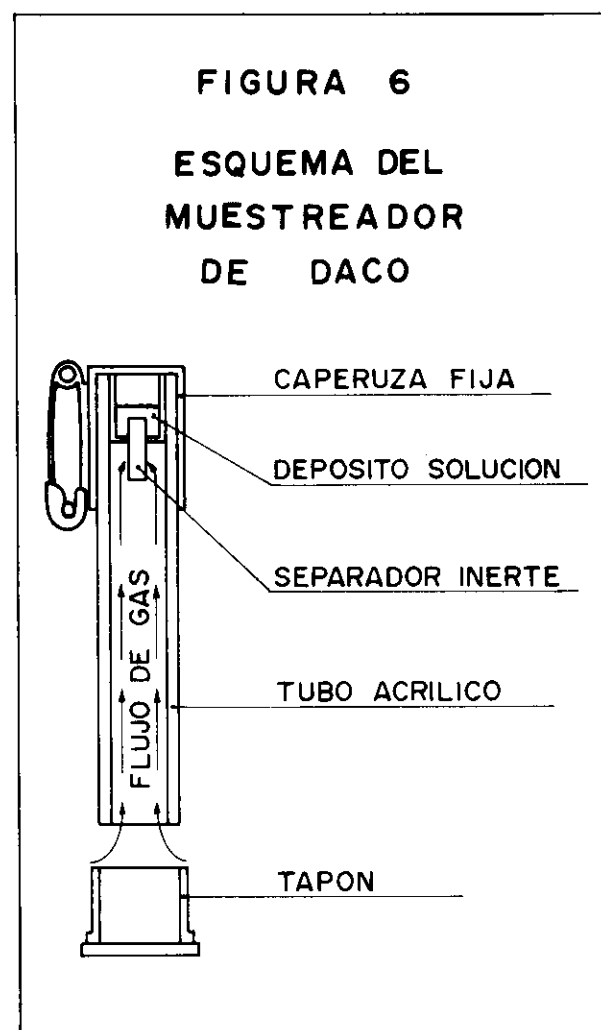
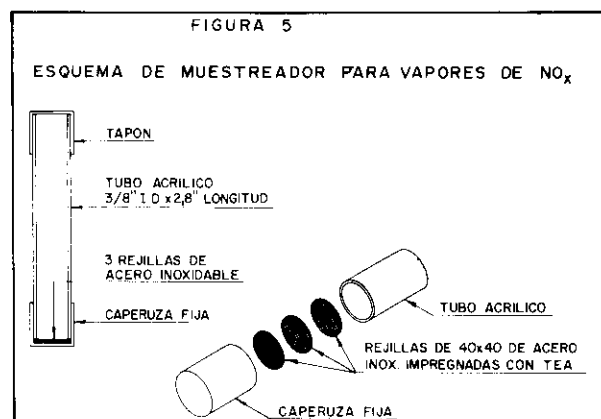
**TABLA II**  
**RESULTADOS OBTENIDOS EN EL**  
**MUESTREO DE VAPORES DE MERCURIO**

Fecha	Puesto de Trabajo	TWA mg/m <sup>3</sup>	
		3M	Tubo carbón MSA
30/4/80	llenado	0,27	0,24
	cerrado	0,22	0,17
17/7/80	llenado	0,12	0,11
	cerrado	0,08	0,09

**SUCINTA DESCRIPCION DE OTROS TIPOS DE MUESTREADORES PASIVOS**

Como se indicó en la introducción de este trabajo el auge de este tipo de muestreadores ha ido creciendo rápidamente debido a las ventajas que suponen sobre los sistemas de toma de muestra convencionales resultando reproducibles y comparables a los que se obtienen con aquéllos. Como información dentro de este apartado se indican diversos tipos de muestreadores pasivos que las distintas casas comerciales o autores de trabajos recogidos en la bibliografía han ido desarrollando últimamente.

Entre los primeros se encuentran los desarrollados por Palmes (1) para la toma de muestra personal de SO<sub>2</sub> y posteriormente en 1976 (21) para dióxido de nitrógeno basado en el diseño de la figura 5 en donde se observa que



# Higiene.

utiliza un sistema de rejillas de acero inoxidable impregnadas con trietanolamina (TEA) como medio absorbente, dispuestos convenientemente en un tubo de plástico acrílico. Un tipo parecido al anteriormente mencionado es el que desde un punto de vista comercial ha desarrollado la casa Daco Products INC., Montclair, NJ 07042, U.S.A. cuyo esquema se da en la figura 6.

La casa Du Pont, Wilmington, Delaware 19898, U.S.A. tiene comercializado un sistema de muestreador colorimétrico denominado "PRO-TEK colorimetric air monitoring badge system" como el de la fotografía 5 para



FOTO 5 Muestreador pasivo "Pro-Tek" colorimétrico

la toma de muestra de  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$ . Los rangos de muestreo en ppm-horas para cada uno de esos gases son 50-500, 10-100 y 10-100 respectivamente. Están concebidos para muestrear las 8 horas de trabajo, dentro de los límites citados anteriormente.

En la fotografía N° 6 se observan las dos secciones en las que interiormente van dividido el muestreador. En la de arriba va la solución absorbente y en los compartimentos de plástico de abajo, tipo blister, el reactivo para



FOTO 6 Interior del muestreador pasivo "Pro-Tek" colorimétrico

desarrollar el color. Al acabar la toma de muestra el resultado se obtiene apretando con el dedo el blister del reactivo para mezclarlo con la solución absorbente y desarrollar el color. Una vez realizada esta operación se introduce el muestreador en la unidad lectora Mod. PT-3 de Du Pont para cuantificarlo obteniéndose directamente el resultado en ppm-hora o tanto por ciento de TLV.



# Análisis Higiene.

## CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los resultados de otros autores recogidos en la bibliografía, de las informaciones suministradas por las casas comerciales correspondientes y de las experiencias preliminares realizadas en el Departamento de Higiene Industrial con los muestreadores pasivos de 3M y Du Pont, se pueden hacer las siguientes consideraciones.

La valoración de contaminantes químicos utilizando muestreadores pasivos es comparable desde el punto de vista de exactitud, reproducibilidad y fiabilidad con los métodos generalmente admitidos por los higienistas industriales. Presentan una serie de ventajas como son no necesitar accesorios (bombas personales y conexiones) ser silenciosos y de poco peso, sencillez de manejo y pequeño riesgo de contaminación debido a su escasa manipulación. Desde el punto de vista económico podrían resultar interesantes dado que permiten muestrear incluso hasta la jornada completa de trabajo, mientras que para conseguir la misma información habría que usar un gran número de muestreadores convencionales, incluso en el caso de tener que cubrir el 70 al 80% de la jornada laboral. Por ende esta circunstancia repercute favorablemente en el tiempo requerido para el análisis. Para el caso particular en que los tiempos de exposición fuesen muy cortos y hubiese que determinar el riesgo a valor techo las ventajas anteriormente señaladas serían discutibles.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las empresas 3M España, S.A. y Giralt, S.A. por facilitarnos desinteresadamente los muestreadores pasivos para vapores orgánicos y de mercurio.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) PALMES, E. D.; GUNNISON, A. F. *Personal Monitoring Device for Gaseous Contaminants*, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 34, 78, 1973.
- (2) LAUTENBERGER, W. J.; KRING, E. V.; MORELLO, J. A. *A New Personal Badge Monitor for Organic Vapors*, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 41, 737, 1980.
- (3) TOMPKINS, F. C. Jr.; GOLDSMITH, R. L. *A New Personal Dosimeter for the Monitoring of Industrial Pollutants*, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 38, 371, 1977.
- (4) WEST, P. W.; REISZNER, K. D. *Field Tests of a Permeation-Type Personal Monitoring for Vinyl Chloride*, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 39, 645, 1978.
- (5) PRO-TEK Organic Vapor G-AA Monitoring Badge No 1., Du Pont Co., Wilmington, Delaware.
- (6) NADEAU, J. S.; TREEN, M. E.; BOOCCOCK, D. G. B. *Mass Transfer Effects in a Nitric Oxide Dosimeter*, *Anal. Chem.* 50, 1871, 1978.
- (7) BAILEY, A.; HOLLINGDALE-SMITH, P. A. *A Personal Diffusion Sampler for Evaluating Time Weighted Exposure to Organic Gases and Vapors*, *Ann. Occup. Hyg.* 20, 345, 1977.
- (8) BAMBERGER, R. L. et al. *A New Personal Sampler for Organic Vapors*, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 39, 701, 1978.
- (9) HIRAYAMA, T.; IKEDA, M. *Applicability of Activated Carbon Felt to the Dosimetry of Solvent Vapor Mixture*, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 40, 1091, 1979.
- (10) PRO-TEK Organic Vapor G-BB Air Monitoring Badge, Du Pont Co., Wilmington, Delaware.
- (11) NELMS, L. H.; REISZNER, K. D. WEST, P. W. *Personal Vinyl Chloride Monitoring Device with Permeation Technique for Sampling*, *Anal. Chem.* 49, 994, 1977.
- (12) MONTALVO, J. G. Jr. *Total Elemental Content Passive Personal Monitors*, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 40, 1046, 1979.
- (13) SILVERSTEIN, L. G. *Validation of Abcor Gasbadge for Acrylonitrile and Improved Desorption Efficiency*, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 38, 412, 1977.
- (14) HALLIDAY, M. M.; ANDERSON, J. *Determination of Halothane in Operating Theatre Air by Using a Passive Organic Vapour Dosimeter*, *Analyst* 105, 289, 1980.
- (15) MAZUR, J. F. et al. *Evaluation of a Passive Dosimeter for Collection of 2-Bromo-2-Chloro, 1,1,1-Trifluoroethane and 2-chloro-1,1,2-Trifluoroethyl Difluoromethyl Ether in Hospital Operating Rooms*, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 41, 317, 1980.
- (16) BRAUN, D. L. *Personal Monitoring of Mercury Vapor Exposure*, ICESA, Vol. 2, IECC Catg. No. 75-CH 1004-1 (1976).
- (17) BUCHWALD, H. *Exposure of Dental Workers to Mercury*, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 33, 492, 1972.
- (18) MENKE, R.; WALLIS, G. *Detection of Mercury in Air in the Presence of Chlorine and Water Vapor*, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 41, 120, 1980.
- (19) McCAMMON, C. S. Jr., WOODFIN, J. W. *An Evaluation of a Passive Monitor for Mercury Vapor*, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 38, 378, 1977.
- (20) McCAMMON, C. S. Jr. et al. *A Comparison of four Personal Sampling Methods for the Determination of Mercury*, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 41, 528, 1980.
- (21) PALMES, E. D. et al. *Personal Sampler for Nitrogen Dioxide*, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 37, 570, 1976.