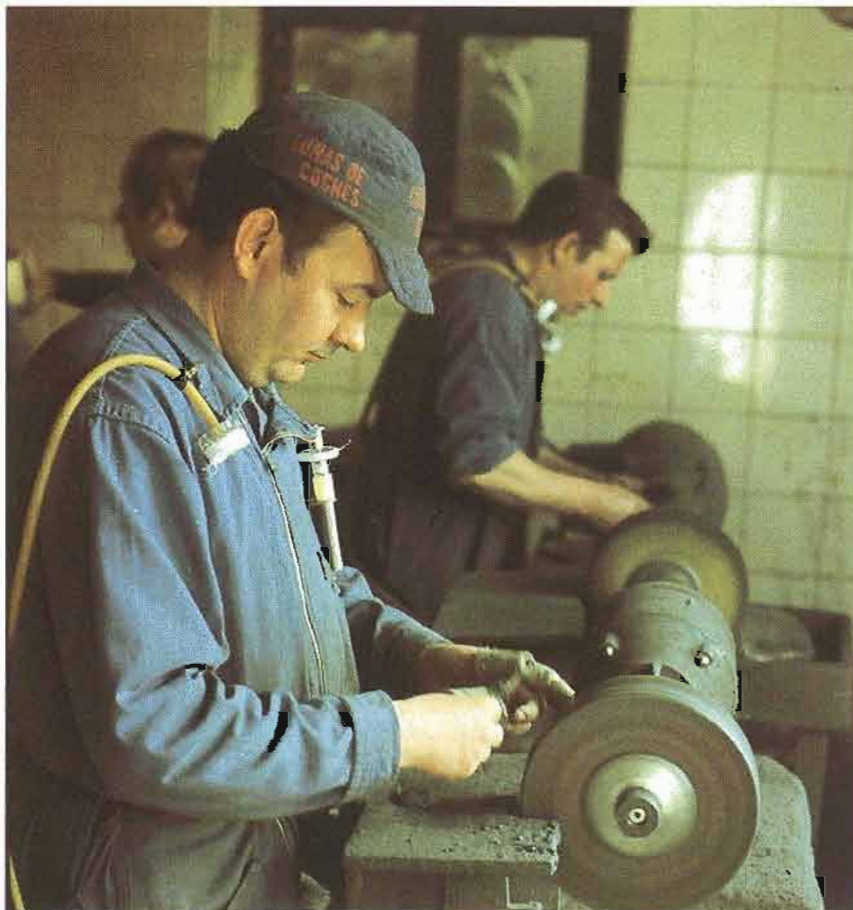


*Instalación de una atmósfera dinámica por el método de presión de vapor.*

D. CARLOS DIE GOYANES  
*Higienista industrial.*

*Instituto Nacional de Seguridad  
e Higiene en el Trabajo*

## Sistemas de atmósferas controladas de utilización en higiene industrial



*La evaluación del riesgo de un puesto de trabajo requiere muchas veces el estudio comparativo de dos tomas de muestra diferentes, para lo cual es necesario un estudio previo de las eficacias de retención con patronos gaseosos.*

**E**l desarrollo industrial de las últimas décadas produce un gran número de nuevos compuestos químicos que en muchos casos pasan a formar parte del ambiente de puestos de trabajo. Para la prevención de enfermedades profesionales es necesario establecer el grado toxicológico o de riesgo del puesto de trabajo. Una de las fuentes de error más significativas en la valoración de ese riesgo de enfermedad profesional es la toma de muestra de contaminantes químicos en aire. Para poder establecer una metodología precisa de toma de muestra, así como la evaluación de los posibles errores cometidos es necesaria la preparación de patrones gaseosos en el laboratorio, de concentración y condiciones atmosféricas como humedad, temperatura, presión, etc... conocidas. Es por ello que la Fundación Mapfre ha creído conveniente la adjudicación de esta beca de investigación. En el curso de la misma han sido revisados y estudiados más de cuatrocientos artículos y monografías referidos a este tema, publicados casi todos ellos en revistas extranjeras.

Una vez realizado este estudio bibliográfico ha sido instalado y calibrado en los laboratorios de Mapfre (Majadahonda) un sistema de generación de patrones gaseosos sintéti-

cos cuya aplicación en Higiene Industrial es muy importante para el estudio, normalización y conocimiento de los errores cometidos tanto en la toma de muestra como en análisis químico.

Se ha creído conveniente la instalación de un sistema dinámico por inyección, no sólo por ser uno de los métodos más versátiles según la bibliografía consultada, sino por que nuestra experiencia de trabajo, utilizando un sistema igual, nos lleva a considerarlo uno de los de mayor precisión dentro de la amplia variedad existente.

Por otra parte, las aplicaciones de una atmósfera controlada no se limitan a la toma de muestra. Esta técnica también es utilizada para el cálculo de vida media de sistemas de purificación de aire, homologación de mascarillas de protección personal, homologación de laboratorios y métodos analíticos, calibración de aparatos de lectura directa, etc...

Los diferentes sistemas de preparación de patrones gaseosos pueden ser clasificados, en general, en sistemas dinámicos y sistemas estáticos.

Describiremos a continuación de una manera teórica cada uno de los sistemas de atmósferas controladas que tienen aplicación en Higiene Industrial, siempre basándonos en la bibliografía consultada.

## SISTEMAS DINAMICOS

En sistemas dinámicos de generación de atmósferas de concentración conocida, se producen corrientes continuas de aire contaminado que permiten el acopio de tomas de muestra a lo largo del tiempo. En Higiene Industrial, como es sabido, es imprescindible una toma de muestra representativa de la concentración media existente en el puesto de trabajo, por lo que los sistemas dinámicos, a diferencia de los estáticos, son los más útiles en estudios de investigación aplicados a la toma de muestra y a la Toxicología Laboral.

Otra ventaja de los sistemas dinámicos sobre los estáticos, es que pueden ser producidos grandes volúmenes de aire contaminado, en los que las concentraciones generadas son muy diversas, incluso hasta de partes por billón en algunos casos (Nelson, 1971).

La absorción y condensación de los compuestos en estudio sobre las paredes interiores del recipiente donde se preparan la mezcla patrón, es un problema que se presenta casi exclusivamente en las atmósferas estáticas. En las dinámicas, esta dificultad es solventada por los equilibrios de absorción y condensación-vaporación del compuesto en las paredes interiores de los recipientes, establecidos una vez alcanzada la estabilización del sistema.

Por otra parte, los sistemas dinámicos suponen una instalación compleja y son, por tanto, más costosos que los estáticos.

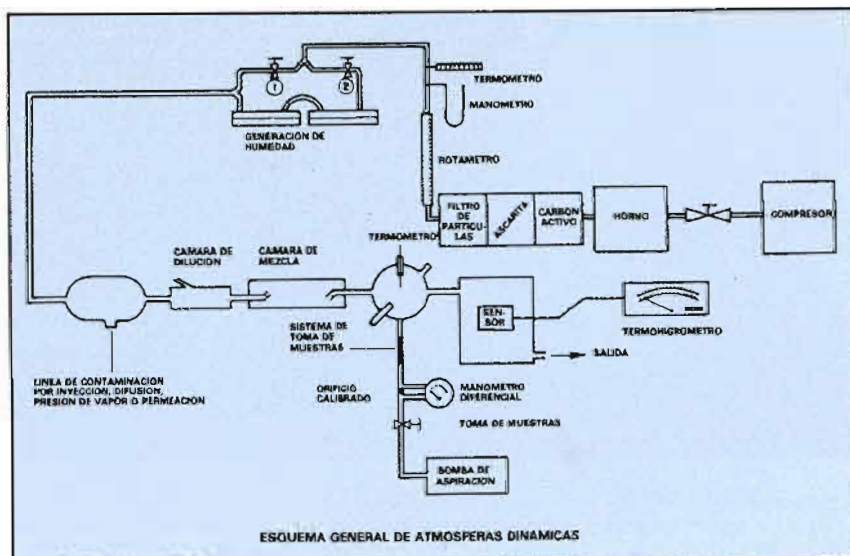
Constan fundamentalmente de tres elementos bien definidos; uno de limpieza y preparación del gas diluyente (aire o nitrógeno) en el que se incluye la medida del caudal y generación de humedad, otro de contaminación, estabilización y homogeneización de la concentración generada y, por último, otro de dilución y toma de muestra. En algunos casos, la generación de humedad no está incluida en la línea de atmósfera dinámica, no siendo posible, en este caso, la preparación de atmósferas similares a las de los ambientes industriales. En otros casos no se incluye para diluir la concentración generada, no pudiéndose realizar una toma de muestra simultánea a diferentes concentraciones. Generalmente, para estudios de Higiene Industrial, se preparan concentraciones de dos veces, una vez y la mitad de los estándares establecidos como concentraciones máximas permitidas (Taylor, Kupel y Bryant, 1977).

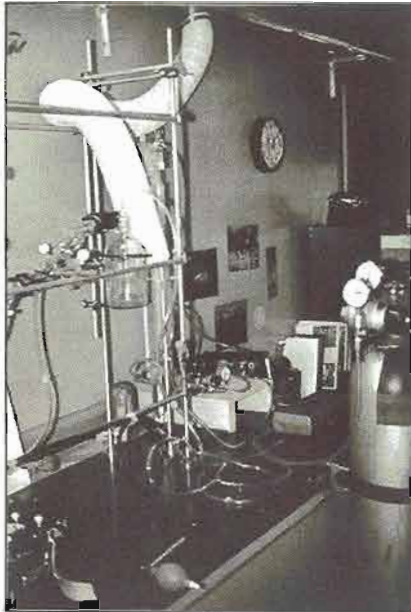
*Se denominan «Atmósferas Controladas» a la técnica de preparación de patrones de contaminantes en aire. No existe un solo método de preparación de patrones gaseosos para todos los contaminantes presentes en ambientes industriales.*

## ATMOSFERAS DINAMICAS POR DIFUSION

Una de las propiedades que poseen los gases y vapores es su capacidad para difundirse a través de tubos a un caudal uniforme si la temperatura de operación, los gradientes de concentración y la geometría del tubo permanecen constantes.

Existen dos aparatos distintos para la medida y el estudio de caudales de difusión. Uno de ellos es el tubo de difusión tipo bulbo, donde se introduce el líquido o el gas en cuestión, y otro la célula de McKelvey (McKelvey, Hoelscher, 1957), que consta de un pequeño matraz en lugar del bulbo y de una cámara





$P_v$  = Presión de vapor del contaminante a la temperatura T.

Estas fórmulas son utilizadas por todos los autores de artículos especializados: Lung (1968), Arito (1968), McKelvey (1957), Altshuller (1960), y otros, para el cálculo de ciertas variables. Por ejemplo, Arito (1968) estudia los efectos de cuatro variables: el caudal de aire, la temperatura, el diámetro interior del tubo y la longitud del tubo. Realiza este trabajo con benceno y estudia el efecto que producen estas variables sobre la concentración generada. Emplea tres matraces de estabilización de la atmósfera después de la célula de difusión y estudia las variaciones que se producen en estas cuatro variables, utilizando los tres matraces y

«Las aplicaciones más importantes de las *Atmósferas Controladas* se pueden resumir en los siguientes apartados:  
 1.º Estudio de la eficacia de una toma de muestra de contaminantes aéreos y sus interferencias. 2.º Influencia toxicológica de atmósferas contaminadas en animales de experimentación. 3.º Cálculo de la vida media de sistemas industriales de purificación de aire.»

del mismo tamaño que el matraz (conectado a la salida del tubo de difusión) por donde se transmite el gas o vapor en cuestión, mezclándose con el gas portador, o de dilución. De esta forma se genera una atmósfera, que es de concentración conocida si se tienen en cuenta con exactitud las variables expresadas en las fórmulas siguientes:

$$C = \frac{10^6 \times qd}{Q}$$

siendo:

C = Concentración generada en ppm.

qd = Caudal de difusión ml/min.

Q = Caudal del gas de dilución en ml/min.

El caudal de difusión depende de varios factores según la siguiente relación:

$$qd = \frac{D \cdot M \cdot P \cdot A}{L \cdot R \cdot T} L_n \frac{P}{P - P_v}$$

siendo:

qd = Caudal de difusión en gr/seg.  
 D = Coeficiente de difusión en  $\text{cm}^2/\text{seg}$ .

M = Peso molecular del compuesto en gr/mol.

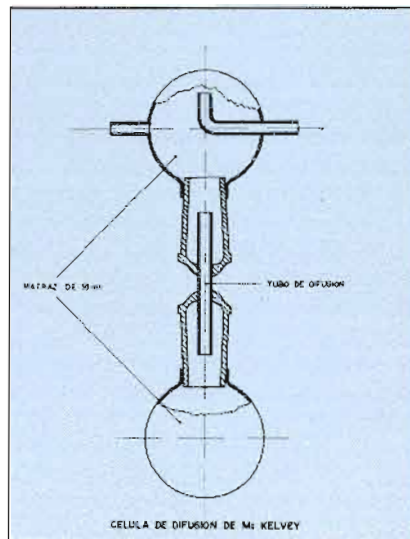
P = Presión en el tubo en atmósferas.

A = Área de la sección del tubo en  $\text{cm}^2$ .

T = Temperatura en °K.

R = Constante molar de los gases en  $\frac{\text{ml} \cdot \text{atm}}{^\circ\text{K} \cdot \text{mol}}$ .

L = Longitud del tubo de difusión en cm.



sin utilizarlos. Los resultados obtenidos son más reproducibles con el sistema de los tres matraces.

G.A. Lung (1968) redestila los compuestos para aumentar su pureza y determina índices de refracción para comprobarla. Estudia coeficientes de difusión de 147 compuestos orgánicos a 25 °C y 760 mm. Hg. de presión en aire. Compara los datos bibliográficos con los resultados obtenidos experimentalmente.

H. Arito y R. Soda (1969) comprueban el rendimiento de la célula de difusión con mezclas de aire-vapor de benceno y hacen una comparación del cálculo de la concentración teórica generada con 18 vapores orgánicos diferentes y los observados experimentalmente. El tubo de difusión es de 4,8 mm. de diámetro y 167 mm. de longitud. Lo termostati-

zan a 30 °C y le hacen pasara 520 ml/min. de aire.

A.P. Altshuller e I.R. Cohen (1960) realizan un trabajo interesante de difusión. Estudian las influencias de la temperatura, naturaleza del gas portador, longitud y sección del tubo de difusión. Comparan los resultados obtenidos con células tipo McKelvey y con células tipo bulbo. Comparan para diferentes compuestos los coeficientes de difusión teóricos y experimentales en varios gases de dilución. Comparan, asimismo, para compuestos de igual peso molecular los coeficientes de difusión de hidrocarburos saturados e insaturados, ramificados y lineales, aromáticos y alifáticos. Estudian la influencia de la turbulencia y tensión superficial de los compuestos respecto a la concentración generada. Y, por último, indican que el tiempo necesario para alcanzar una estabilidad en la concentración de la atmósfera viene dado por:

$$t > \frac{L^2}{2D}$$

siendo L y D la longitud y el diámetro del tubo de difusión.

Palmes y Grunnison (1973) utilizan el principio de difusión molecular a través de tubos para el muestreo personal de contaminantes gaseosos. Diseñan un aparato consistente en un recipiente donde se introduce un absorbente sólido. La boca del recipiente es el tubo de difusión de 0,32 cm. de diámetro y longitudes que varían entre 0,5 y 4 cms. Se prueba este muestreador con va-

por de agua y, habiéndose obtenido buenos resultados, se aplica a dióxido de azufre.

Raymond y Guiochon (1975) utilizan el sistema difusión para estudiar la capacidad de absorción de negro de humo por compuestos orgánicos en gases ligeros.

Otros utilizan el sistema de difusión para determinar la concentración de diferentes compuestos en aire: Miller y Mueller (1975) para el estudio de isocianatos en aire; Mat H. Ho (1980) para detección continua de tolueno en aire ambiental; Giesling y Miksch (1982) para la generación de formaldehído; Campbell y Konzen (1980) para desarrollar un muestreador pasivo para la determinación de vapores de anilina en aire. Y, por último, Yap y Doane (1982) determinan coeficientes de difusión por cronoamperometría y Cieshardt y Adams (1982) por un método analítico con detector de radiación UV-Visible.

Los compuestos estudiados por difusión en la bibliografía consultada tienen propiedades diferentes (punto de ebullición, peso molecular, presión de vapor, etc.), pero creemos que el sistema de preparar patrones en aire por difusión es el más idóneo para aquellos cuyo punto de ebullición no sea demasiado bajo, por influencia excesiva en la difusión de la temperatura de operación.

## ATMOSFERAS DINAMICAS POR INYECCION

Si introducimos el gas líquido objeto de estudio en la línea del gas diluyente (aire o nitrógeno) mediante un sistema mecánico capaz de proporcionar un caudal constante, obtendremos una atmósfera dinámica controlada. Este caudal constante es obtenido por medio de un procedimiento mecánico basado en la utilización de bombas inyectoras, las cuales poseen un carro capaz de empujar el émbolo de una jeringa de inyección a velocidad lineal constante. Las dimensiones de la jeringa y la velocidad de avance del émbolo nos proporciona un caudal de inyección constante del líquido o del gas en la línea del gas de dilución. Teniendo en cuenta que la velocidad de avance del émbolo de la jeringa sea superior a la velocidad con que se pue-



Instalación de una atmósfera dinámica por el método de inyección.

de difundir el gas o el líquido a través de la aguja de la jeringa, podremos determinar exactamente (dependiendo del tamaño de la jeringa) la cantidad de contaminante introducido en la línea de la atmósfera.

Asimismo, suponiendo que todo el contaminante introducido con la bomba de inyección se vaporiza en el interior de la cámara, el cálculo de la concentración creada considerando a la mezcla como el gas ideal está dado por:

$$C = \frac{22,2 \times 10^6 \cdot \frac{T}{273} \cdot \frac{760}{P} \cdot q_i \cdot e}{Q_D \cdot M}$$

siendo:

C = Concentración creada en ppm.

T = Temperatura del sistema en °K.

P = Presión del sistema en mm. Hg.

$q_i$  = Caudal del contaminante en ml/min.

e = Densidad del contaminante en grs/ml.

$Q_D$  = Caudal de aire en litros/min.

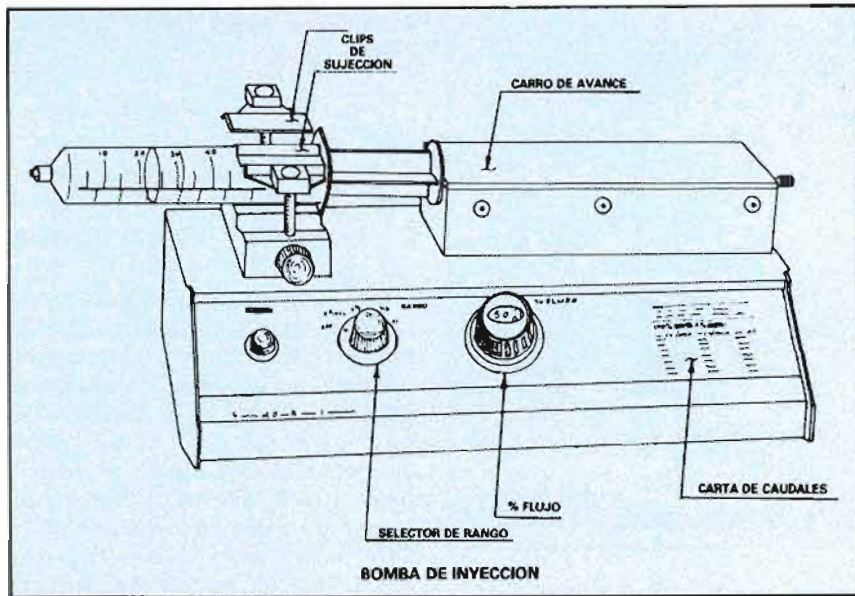
M = Peso molecular del contaminante en gr/mol.

Las bombas de inyección mencionadas en la bibliografía consultada son de diferentes marcas. Por ejemplo, Fraust y Herman (1966 y 1969) utilizan el modelo 600-920 de Harvard Company para generar atmósferas de vapores de acetatos alifáticos y otros vapores orgánicos, y es-

tudian la absorción en carbón activo. Estos autores conectan a la salida de la atmósfera un detector cromatográfico de ionización de llama, para calcular la estabilidad de la atmósfera, así como para el estudio de las curvas de breakthrough (definido como el tiempo que tarda el adsorbente en saturarse de contaminante). El procedimiento que emplean estos autores para vaporizar los acetatos alifáticos consiste en la utilización de una cinta calefactora que rodea la cámara desde el lugar donde se inyecta el contaminante hasta la cámara de toma de muestra.

McCammom, Quimm y Kupel del NIOSH (1975) publicaron un artículo sobre la absorción de sulfuro de carbono en carbón activo, en el que se detallan todas aquellas partes de la atmósfera. Se incluyen en el esquema un compresor como fuente de aire, un tren de filtros y un horno para su limpieza y purificación, un rotámetro y una válvula de aguja para medida y regulación del caudal, así como una cámara de inyección, una cámara de mezcla y una cámara de toma de muestras. Sin embargo, no citan ni la marca ni el modelo de la bomba de inyección.

El NIOSH (1976) publica un sistema de generación de muestras de vapores orgánicos en aire con métodos de inyección de permeación y difusión, comparando someramente los tres métodos. El tiempo que calcula para el equilibrio y estabiliza-



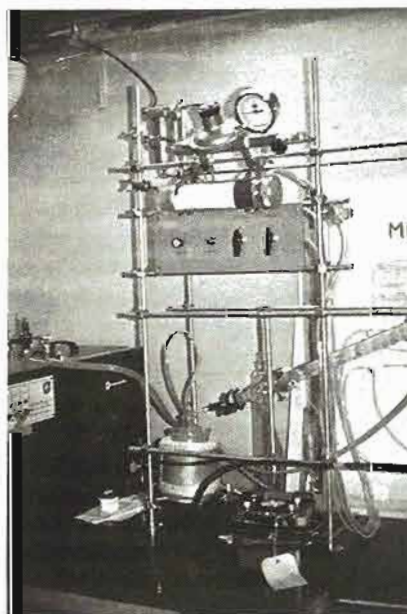
ción de la atmósfera es de dos horas para el de inyección y de toda una noche para los otros dos. Las concentraciones que se pueden conseguir con estos dos últimos métodos son menores que con el de inyección. Pensamos que esto dependerá de la versatilidad de la bomba de inyección. Si es capaz de conseguir velocidades muy lentas de inyección, se obtendrán con una microjeringa caudales de inyección muy bajos. Por propia experiencia, es posible conseguir preparar concentraciones estables de 2 a 6 ppm. de vapores orgánicos con el modelo 335 de Sage Instruments.

Otros trabajos utilizan el método de inyección para estudiar la vida media de los cartuchos de mascarillas de protección personal (Freedman, Ferber y Hartstein, 1973) pudiendo ser utilizado mediante pequeñas transformaciones para estudios toxicológicos en animales de experimentación.

Ciento dos compuestos son estudiados para normalizar métodos de toma de muestra y análisis con el sistema de inyección por Taylor, Kuppel y Bryant (1977). Estos compuestos pueden ser sólidos o líquidos, empleando una bomba de inyección Harvard mod. 944. Utilizan jeringas de gases para introducir líquidos y un detector cromatográfico de ionización de llama para calcular la estabilidad de la concentración generada y los tiempos de breakthrough. La cámara de inyección es calentada con cinta calefactora. Por ejemplo, utilizan este sistema para intro-

ducir mezclas binarias como Fenil-eter-bifenilo. También se usa este sistema para introducir gases como propano.

Otros compuestos han sido estudiados en la bibliografía consultada por el método de inyección de preparación de patrones en aire. Kim (1980) estudia formaldehído. Morales, Stampher y Hermes (1982) trabajan con etilenimina y estudian un método para la toma de muestra y el análisis por cromatografía de líquidos. Un compuesto sólido como el furfural figura en la bibliografía, en el trabajo de Nishimoto, Schumacher y otros (1980). También se compara en Atmósfera Controlada de Inyección la absorción de estireno en tubos de carbón activo y en



monitores pasivos (Evans y Horstman, 1981) así como la eficacia de tubos colorimétricos de larga duración de benceno, tolueno y tricloroetileno (Jentzsch y Fraser, 1981). Die Goyanes presenta en 1977, en el congreso de AIHA, un trabajo de absorción de mezclas binarias en carbón activo. Las mezclas que se estudian son de acetona-estireno, benceno-tolueno y acetona-tricloroetileno.

## ATMOSFERAS DINAMICAS POR PERMEACION

Es uno de los métodos de producción de atmósferas patrones con el que se obtienen concentraciones estables más pequeñas. El aparato que produce la permeación en cuestión es un tubo generalmente de teflón, cerrado por ambos extremos, donde se ha introducido un gas licuado.

La permeabilidad del gas a través de las paredes del tubo es básicamente un proceso de difusión cuyo caudal está expresado según la ley de Fick:

$$qd = D \cdot S \cdot A \frac{P_1 - P_2}{L} = P_g \cdot A \frac{P_1 - P_2}{L}$$

A = Area exterior del tubo.

D = Constante de solubilidad del gas en la membrana.

$P_{1,2}$  = Presiones interior y exterior del tubo.

$P_g$  = Constante de permeabilidad del gas.

Este proceso de difusión se produce en el tubo permeable por el gradiente de concentración del compuesto que existe entre el interior y el exterior de dicho tubo.

La concentración C generada por un tubo permeable considerando al gas ideal, está dada por:

$$C = \frac{22,4 \times 10^6 \cdot \frac{T}{273} \cdot \frac{760}{P} \cdot Q_p}{Q_d \cdot M}$$

siendo:

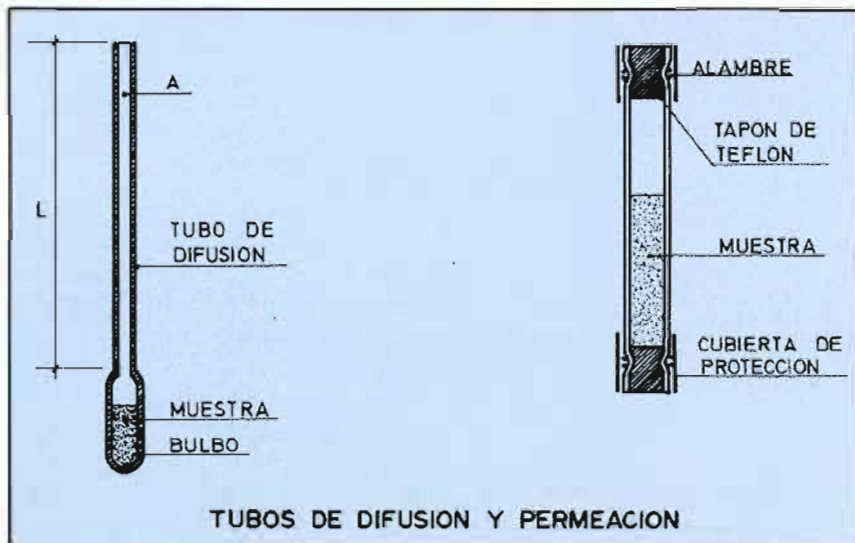
T = Temperatura del sistema en °K.

P = Presión del sistema en mm. Hg.

$q_p$  = Caudal de permeación en gr/min.

M = Peso molecular del contaminante en gr/mol.

$Q_d$  = Caudal del gas de dilución en l/min.



Mediante este sistema de Atmosferas Controladas, únicamente se pueden estudiar gases. Las concentraciones generadas son bajas. Nelson (1972) da un rango de concentración de 50 ppb. a 200 ppm. Ash y Lynch (1971) generan concentraciones de SO<sub>2</sub> en aire de 2,5, 5, 10 y 25 ppm. Saltzman (1969), posiblemente el autor que más ha estudiado los tubos permeables, los describe indicando volumétricamente la calibración de dichos tubos.

Johnson (1972) prepara tubos de SH<sub>2</sub> y de Cl<sub>2</sub> y estudia el comportamiento de tubos colorimétricos. Scaringelli, O'Keppfe y otros, calibran los tubos permeables gravimétricamente. De esta manera, sin tener en cuenta los datos tabulados en la bibliografía de coeficientes de permeabilidad de las membranas de teflón, etc., se obtienen los caudales de permeación y por tanto la concentración generada en la atmósfera. Baukovich y Madrell (1976) preparan tubos permeables de cloruro de vinilo y calculan los caudales de permeación por pesada. O'Keppfe (1977) cita nuevas normas de rellenado y cerrado de tubos permeables de FEP teflón. Aneja (1978) utiliza el método de los tubos permeables para estudiar un monitor continuo de amoniaco. Teckentrup (1978) publica la forma de preparación y rellenado de tubos permeables. Dhararagan (1979 y 1980) genera atmósferas estándar de isocianatos orgánicos. Shoy Yem (1981) estudia características de permeación a través de tubos de goma de silicona de vapores orgánicos. Kring (1981) prepara tubos permeables de amonia-

co, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> y Burg (1981) genera bajas concentraciones de TDI mediante tubos permeables.

### ATMOSFERAS DINAMICAS POR PRESION DE VAPOR

Se utilizan los datos tabulados en la bibliografía consultada, sobre presión de vapor para controlar la evaporación de los líquidos. De manera que, teniendo en cuenta la temperatura de operación, el punto de ebullición, la viscosidad del líquido, etc. podremos conocer la cantidad de compuesto que se evapora en la unidad de tiempo.

La concentración generada de contaminante la obtendremos según la fórmula siguiente:

$$C = \frac{22,4 \times 10^5 \cdot \frac{T}{273} \cdot \frac{760}{P} \cdot W}{M \cdot Q_D \cdot t}$$

siendo:

- C = Concentración generada en ppm.
- T = Temperatura del sistema en °K.
- P = Presión del sistema en mm. Hg.
- W = Cantidad evaporada del contaminante en gramos.
- M = Peso molecular en gr/mol. del contaminante.
- Q<sub>D</sub> = Caudal de gas diluyente en litros/min.
- t = Tiempo necesario para evaporar el peso W.

El cálculo de la concentración

también se puede realizar por la fórmula:

$$C = \frac{10^6 \cdot P_n}{P} \text{ (ppm)}$$

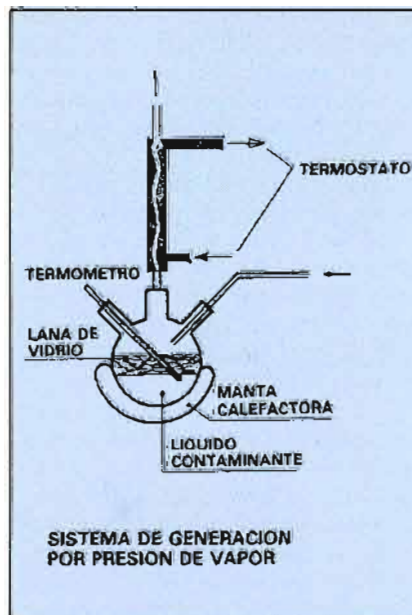
P = Presión total del sistema.

P<sub>n</sub> = Presión de vapor del contaminante a la temperatura del sistema.

Este sistema de preparación de patrones gaseosos ha sido utilizado para la evaluación de tubos colorimétricos de benceno y tetracloruro de carbono (Ash, 1971), tricloroetileno y percloroetileno (Roper, 1971) así como el estudio de monitores pasivos para la toma de muestra de vapor de mercurio (McCammon, 1977) y de fósforo blanco (Kenneth, 1977). También se han estudiado tomas de muestra de o-fenilendiamina (Burg, 1978 y 1980) y etilendiamina (Vincent, 1978) siendo éstos, compuestos sólidos en los que, por medición de la temperatura o por diferencias de pesada, calibramos la cantidad evaporada de cada compuesto en la cámara de Atmosferas Controladas.

El NIOSH valida cuarenta y seis métodos de análisis y toma de muestra por este sistema de preparación de atmósferas controladas, entre los que se encuentran tanto compuestos líquidos (vapores orgánicos de todo tipo) como sólidos (naftaleno y cromo metálico).

También se ha utilizado el método para estudios de inhalación en animales de experimentación (Akio Koizumi, 1981) y para comparar mo-



*No existe un método general, definido y aceptado en la bibliografía para la preparación de atmósferas controladas de aerosoles.*

nitores pasivos de toma de muestra de vapores orgánicos con tubos de carbón activo.

## SISTEMAS ESPECIALES DE POLVO Y AEROSOLES

No existe un método definido y aceptado en la bibliografía consultada para la preparación de atmósferas controladas de aerosoles, tanto sólidos como líquidos.

Generalmente estas atmósferas descritas en la bibliografía para aerosoles sólidos constan de un alimentador de polvo, un neutralizador de carga estática, que suele ser una fuente radioactiva, una zona o cámara de toma de muestra y en algunos casos un medidor de distribución de tamaño de partículas.

Para aerosoles líquidos, el alimentador queda sustituido por un nebulizador y un separador ciclónico que retiene las partículas más gruesas.

El amplio rango de aerosoles existentes, según su tamaño de partícula, es determinante para que la preparación de atmósferas de aerosoles requieran en cada caso un aparato especial. Así, por ejemplo, Deichmann (1944) para estudios de inhalación en animales de experimentación, propone un aparato diseñado para producir concentraciones de polvo en aire. Dicho aparato, denominado por el autor el «Dust-haker» no volvemos a encontrarlo en la bibliografía consultada a partir del año 1960.

El NIOSH utiliza para normalizar los métodos de polvo de carbón, de cadmio, de sílice, cristalina, óxido de boro y dióxido de titanio un alimentador de polvo denominado «Wright Dust Feeder» que aparece también en una comunicación interior de GCA Corporation.

Para aerosoles líquidos o sólidos de pequeño tamaño de partícula, como pueden ser los humos metálicos, se utilizan los nebulizadores y los neutralizadores de carga estática.

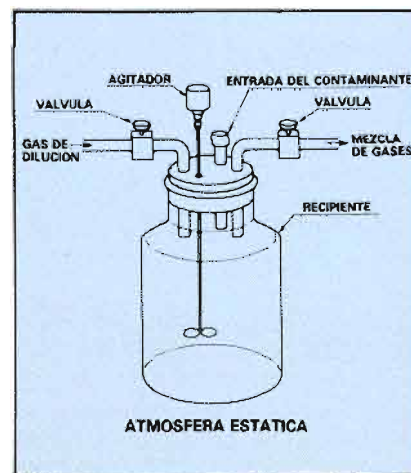
Horstamn (1973) establece un método para generar aerosoles de plo-

mo, níquel y cadmio mediante nebulizador de vidrio y utiliza una fuente de estroncio 90 como agente de descarga. Utiliza soluciones de  $\text{Cl}_2\text{Pb}$ ,  $\text{Cl}_2\text{Ni}$ , Ni y  $\text{C}_6\text{O}$  que introduce en el nebulizador. Fox y otros (1975) mide las concentraciones de aerosol con monitores para óxidos de nitrógeno, ozono, hidrocarburos y otros gases. También mide parámetros meteorológicos como la humedad relativa, radiación solar y ultravioleta, punto de rocío y la temperatura. Estas mediciones se realizan en una cámara diseñada para aire ambiental. Tillery (1973) estudia los efectos de la humedad relativa en aerosoles no higroscópicos. Swart (1973) realiza una calibración de impactadores de cascada mediante un método sencillo de generación de aerosoles. El aerosol se genera por condensación del vapor, controlándose el tamaño de partícula por la utilización de diferentes caudales de corriente del gas portador. Darmer (1974) genera aerosoles de  $\text{ClH}$  y expone ratas y ratones a las concentraciones preparadas. Cammer (1972) prepara aerosoles para realizar estudios de deposición traqueobronquial humana. No se describe en este trabajo suficientemente la instalación necesaria para producir los aerosoles. Philipson (1972) describe un método para genera aerosoles de partículas monodispersas basadas en el principio del «spinning disc». Friedman (1974) prepara aerosoles de óxidos metálicos en el laboratorio con un nebulizador «Collison», introduciendo en él soluciones acuosas de carbonatos, acetatos y oxalatos metálicos. Thomas (1971) prepara nieblas de ácido sulfúrico con un generador diseñado por Dharmarajan con un mechero de consumo total de un aparato de espectrofotometría de absorción atómica. La casa Dräger, alemana (1973), desarrolla y describe un generador de nieblas para su comercialización, cuya utilización no hemos encontrado en trabajos de investigación.

El NIOSH, en su validación de métodos analíticos, utiliza nueve diferentes sistemas de generación para la normalización de un total de cincuenta y dos métodos analíticos.

Muchos autores como Kellogg (1981) estudian la generación de aerosoles para analizar su comportamiento en técnicas espectrofotométricas. Esmen y otros (1980) generan

aerosoles monodispersos de fibra de vidrio, y Carpente (1981) genera aerosoles de fibra de vidrio respirable. Otros autores como Dasgupta (1980) generan aerosoles para estudiar los efectos toxicológicos de inhalación.



## SISTEMAS ESTATICOS

El sistema estático consiste en la introducción de una cantidad conocida de contaminante en un recipiente de volumen conocido. Como es sabido, este sistema se utiliza de dos maneras diferentes, cámaras rígidas y no rígidas. Si las cámaras son rígidas podemos distinguir tres métodos de preparación: a presiones superiores a la ambiental, a presión ambiental y al vacío.

Tanto en cámaras rígidas como no rígidas podemos calcular la concentración generada mediante las fórmulas siguientes:

$$C = \frac{V_c \cdot I}{M} \cdot \frac{22,4}{V_R} \cdot \frac{760}{P} \cdot \frac{(273 + t)}{273} \cdot 10^6$$

siendo

C = Concentración del patrón deseado en ppm.

$V_c$  = Volumen del compuesto en ml.

I = Densidad del compuesto en gr/ml.

M = Peso molecular en gr/mol.

$V_R$  = Volumen del recipiente.

P = Presión de operación en mmHg.

t = Temperatura de la mezcla en °C.

Si la presión de trabajo es superior a la ambiental se puede utilizar la ley de Dalton de las presiones parciales,

$$P = p_a + p_b + \dots + p_n$$

## RESUMEN DE CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DE ATMOSFERAS CONTROLADAS

Método	Rango de concentración	Volumen de la mezcla test	Presión de operación	Complejidad del aparato y costo de instalación	Aplicaciones
Cámara estática	10 ppm - 5%	10% del volumen de la cámara	≤ 1	Bajo	Gases
Cámaras Dinámicas:					
Difusión	0,1 - 500 ppm.	Muy grande	≈ 1	Medio	Líquidos no muy volátiles
Inyección	1 pp. - 01%	Grande	≥ 1	Medio-alto	Líquidos volátiles y gases
Permeación	50 ppm.- 200 ppm.	Muy grande	≈ 1	Medio	Gases licuables
Presión de vapor	5 ppm. - 10%	Grande	≥ 1	Bajo-medio	Líquidos en general
Especiales	Según los casos	Grande	≈ 1	Alto	Metales, polvo, fibras, etc....

El cálculo de la concentración viene expresado por:

$$C = \frac{10^2 \times p_n}{P} (\% \text{ en volumen})$$

$$C = \frac{10^6 \times p_n}{P} (\text{ppm})$$

Si los gases se comportan como no ideales, las desviaciones en el cálculo de la concentración pueden ser elevadas, por lo que es necesario tener en cuenta las leyes de los gases reales.

Como es sabido, pueden presentarse otros problemas en el cálculo de las concentraciones generadas. Por ejemplo, puede producirse un efecto en que a altas presiones el compuesto se absorba o se condense en las paredes interiores del recipiente que lo contiene, así como otros problemas que en cada caso es necesario tener en cuenta, como la posible reactividad del compuesto en las condiciones de trabajo. Un ejemplo de esto es la dimerización y transformación de los óxidos de nitrógeno.

En muchos casos bibliográficos se utiliza esta técnica para la preparación de patrones y construcción de curvas de calibración de aparatos de análisis químico.

Por otra parte, han sido utilizadas balas preparadas con atmósferas estáticas para generar atmósferas dinámicas mediante corrientes de gases. Por ejemplo, el NIOSH normaliza seis métodos de análisis de esta forma.

Yoon y Pierce (1975) preparan mezclas de hidrocarburos C<sub>5</sub> y C<sub>6</sub> a concentraciones de 0,05 ppm. Kava-

nagh y otros (1980) evalúan el muestreador pasivo «Porton» con concentraciones de Halotano. Kimble y otros (1982) mediante el sistema estático diseñan un tubo de toma de muestra específico para acetato de vinilo monomero.

Este método de preparación de patrones gaseosos es poco utilizado en la bibliografía de estudios de Higiene Industrial por los posibles problemas del cálculo de la concentración anteriormente mencionados.

### CONCLUSIONES BIBLIOGRAFICAS DE LOS DIFERENTES METODOS DE PREPARACION DE ATMOSFERAS CONTROLADAS

- 1.º No existe un solo método de preparación de patrones gaseosos para todos los contaminantes presentes en ambientes industriales.
- 2.º Están más indicados para estudios de Higiene Industrial (inclu-

yendo las técnicas de Toxicología, Toma de Muestra e Higiene Teórica) los métodos dinámicos que los estáticos, aunque el costo de instalación es superior.

- 3.º El método más utilizado en la bibliografía consultada para producción de atmósferas controladas, según el número de artículos revisados, es el dinámico por inyección, con un total de 123 artículos seleccionados incluyendo los métodos analíticos normalizados por NIOSH.
- 4.º Que el método de difusión es aplicado fundamentalmente para preparar atmósferas de compuestos líquidos.
- 5.º Que el método de permeación está pensado para gases licuables.
- 6.º Que las cámaras estáticas son buenas para la construcción de curvas de calibración, pero no para estudios de Higiene Industrial por proporcionar pequeños volúmenes de aire. ■

### BIBLIOGRAFIA

- ARITO, H. and SODA, R. *Industrial Health*. 6, 120 (1968).
- LUNG, G.A. *Anal. Chem.* 40 (7), 1072 (1968).
- ARITO, H. and SODA, R. *Industrial Health*. 7, 163 (1969).
- McHELVEY, J. and HOELSCHER, H.E. *Anal. Chem.* 29 (1), 123 (1957).
- McCAMMON, C., QUIINN, P.M. and KUPEL, R.E. *AIHA Journal* 36, 618 (1975).
- TAYLOR, D.G., KUPEL, R.E. and BRYANT, J.M. NIOSH. Publication n.º 77-185 (1977).
- McARTHUR B. R. *AIHA Journal* 41 (2), 151 (1980).
- DIE GOYANES, C. AIC. New Orleans (1977).
- SALTZMAN, B.E., BURG W.R. and RAMASWAMY, G. *Envir. Scien. and Tech.* 5 (11) (1971).
- SALTZMAN, B.E., FELDMANN, C.R., O'KEEFE, A.E. *Envir. Scien. and Tech.* 3 (12), 1275 (1969).
- SALTZMAN, B.E., *Air Poll. Cont. Assoc. Journal* 18 (5) (1968).
- COSTA, D.L. and UNDERHILL, D. *AIHA Journal* 37 (1), 46 (1976).
- BLANCHETTE, A.R. and COOPER, A.D. *Anal. Chem.* 48 (4) (1976).
- TOMB, T.F., TREAFTIS, H.N. and BECKERT, A.J. *AIHA Journal* 37 (8), 459 (1976).
- De SONZA, T.L.C. and BHATIA S.P. *Anal. Chem.* 48 (14) 2234 (1976).
- O'KEEFE, A. *Anal. Chem.* 48 (8), 1278 (1977).
- ASH, R.M. and LYNCH, J.R. *AIHA Journal* 32 (8) (1971).
- POTTS, W.J. *AIHA Journal* 41 (2), 141 (1980).
- AKIO KOIZUMI and MASYUKI IKEDA. *AIHA Journal* 42 (6) 417 (1981).
- LIU, Y.H., BERLUND, R.N. and AGARWAL, J.K. *Atmos. Environ* 8, 717 (1974).