

Determinación de emisiones de solventes volátiles en un laboratorio docente y de investigación de ingeniería química, Valencia, Venezuela

Viky Mujica* & Cathy Pérez

Esta investigación tuvo como objetivo determinar las concentraciones de solventes volátiles en el Laboratorio de Ingeniería Química (LIQ) de la Universidad de Carabobo, Valencia Venezuela. Los equipos evaluados fueron las torres de destilación y extracción sólido-líquido; operando con etanol-agua y hexano como solventes extractivos respectivamente. Se empleó un muestreador activo para recolectar la muestra gaseosa y un medio de colección físico y químico, carbón activado y 5mL de solución absorbente formada por agua destilada y una mezcla al 50% molar de hexano-tolueno. En la torre de destilación se obtuvieron 0,002483 ppm y 0,002742 ppm de etanol, y en la torre de extracción 0,00125 ppm y 0,000758 ppm de hexano para cada medio. Estos resultados se compararon con los reportados en las normas oficiales Venezolanas (COVENIN, 1993), concluyéndose que las concentraciones de etanol y hexano en el área de estudio están por debajo de las concentraciones máximas permitidas.

Palabras claves: emisión, torre de destilación, torre de extracción sólido-líquido, solventes volátiles, COVENIN.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la humanidad contemporánea experimenta el progreso, pero también existen preocupaciones por el deterioro de la salud y el ambiente. El problema ambiental está profundamente relacionado con el vínculo que tiene el hombre con su entorno, y depende también de la relación de los hombres entre sí. La salud ambiental comprende aspectos de la salud humana, que incluye la calidad de vida, que es determinada por factores ambientales físicos, químicos, biológicos y sociales. También se refiere a la teoría y práctica de evaluar, corregir, controlar y prevenir aquellos factores en el ambiente que pueden potencialmente afectar adversamente la salud de presentes y futuras generaciones (Frers, 2006).

La Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999), en su artículo 127 establece los derechos y deberes que tiene toda persona, individual

y colectivamente, a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado, para ésto el Estado Venezolano con una activa participación de la sociedad, debe garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidos, de conformidad con la Ley.

La contaminación del aire en interiores plantea muchos retos para el profesional hoy en día; por tal motivo la importancia en determinar las fuentes de emisiones de posibles contaminantes que pudieran estar contaminando de forma ininterrumpida ambientes de trabajo (Carter, 1999).

Los individuos que presentan síntomas asociados a las dificultades en la respiración, enfermedades pulmonares relacionadas con el ambiente; pueden haber estado expuestos a sustancias transportadas por el aire en interiores, antes que en ambientes libres. Diversos estudios realizados en los Estados Unidos y Europa muestran que los habitantes de los países industrializados pasan más del 90 por ciento de su tiempo en interiores (EPA, 2003).

* Departamento de Ingeniería Química, Laboratorio de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela

Autor de correspondencia: vc mujica@gmail.com

La investigación que se presenta a continuación, consistió en determinar las concentraciones etanol y hexano en el interior del Laboratorio de Ingeniería Química (LIQ) de la Universidad de Carabobo, básicamente los generados por la operación de las torres de destilación y extracción sólido-líquido.

En éstos equipos los estudiantes cursantes de la asignatura Laboratorio de Ingeniería Química II, realizan sus experiencias prácticas relacionadas con la recuperación de etanol en la torre de rectificación; mientras en la torre de extracción se efectúa la extracción de aceites de semillas oleaginosas utilizando como solvente extractivo hexano.

La exposición prolongada a emisiones de etanol y hexano puede causar polineuropatías -debilidad y entumecimiento del músculo- en seres humanos. Entre los factores que favorecen la aparición de esta enfermedad destaca la ausencia de medidas de protección en el lugar de trabajo, individual (mascarillas, guantes, etc.), colectiva (cabinas de extracción), alta temperatura en el lugar de trabajo, inadecuada ventilación y posiblemente exceso de fuentes de emisión de disolventes orgánicos tóxicos (Lezaun, 2003).

Por otra parte, las emisiones de éstos compuestos orgánicos volátiles (COV), junto con los óxidos del nitrógeno (NOx), son precursores del ozono troposférico. La exposición al ozono ambiente es responsable de una serie de impactos de la salud, tales como: alteraciones en la capacidad pulmonar; ojo, nariz, e irritación de la garganta, náusea, y provocación de enfermedades respiratorias (Seinfeld, 2004).

Para el personal del LIQ es una preocupación la exposición de 6 horas semanales por parte de los estudiantes que realizan experiencias prácticas, y de 8 horas diarias del personal técnico y docente a las emisiones de éstos solventes, a los cuales están expuestos. Como bien es cierto, es el pulmón el órgano más afectado por los contaminantes transportados por el aire. Sus efectos agudos pueden incluir signos y síntomas no respiratorios tales como: lesiones en los nervios y parálisis de los brazos y piernas, el grado de afectación dependen de las características toxicológicas de las sustancias y de los factores relacionados con el huésped (Mateos, 1997).

Actualmente el LIQ está adaptando su funcionamiento según lo establecido en las normas sobre higiene y seguridad industrial, por lo tanto, se ve en la necesidad de iniciar acciones para cuantificar las emisiones de solventes volátiles que se producen y estar al tanto de los riesgos a la salud que se pudieran causar.

El control en el ambiente de trabajo ocupa un papel muy importante, para realizar una adecuada valoración del riesgo higiénico, particularmente el control ambiental de emisiones presentes en las operaciones de las torres de destilación y extracción, en que la manipulación de hexano y etanol es trascendental pues las emisiones de éstos solventes son causantes de muchas de las enfermedades mencionadas anteriormente.

Con base en lo expuesto anteriormente, los objetivos de esta investigación fueron:

- 1.- Seleccionar e instalar el sistema de recolección de muestras.
- 2.- Determinar la presencia de emisiones de etanol y hexano, durante la operación de las torres de destilación y extracción sólido-líquido.
- 3.- Comparar las concentraciones obtenidas con lo establecido en Norma Venezolana (COVENIN, 1993).

METODOLOGÍA

De los equipos con los cuales cuenta el laboratorio, se seleccionaron la torre de destilación por platos y la torre de extracción sólido-líquido, cuyas emisiones son los solventes etanol y hexano. Cada torre puede operar con soluciones de 36L etanol-agua y hexano respectivamente. El criterio utilizado para la toma de muestras fue de 6 horas diarias continuas de operación, para ambos equipos durante una semana.

Selección del sistema de muestreo.

En función de los requerimientos del método y de los equipos disponibles en LIQ, se seleccionó como sistema para la recolección de las muestras gaseosas uno tipo activo. Como medio de colección se utilizaron dos opciones: carbón activado granulado como medio de colección físico y una solución absorbente al 50% molar, como medio de colección químico, ambos medios de colección se encuentran

disponibles en el laboratorio. (Martínez & Romieu, 2003).

Requerimientos mínimos de un equipo de muestreo activo

Sistema de muestreo.

El primer componente del sistema de muestreo es la línea de succión, que incluye básicamente: entrada, mangueras, tuberías, bomba de vacío.

La entrada incluye un embudo boca abajo o tapón, como se aprecia en la Fig. 1, para prevenir algún tipo de fuga y entrada de partículas extrañas a la línea de muestreo, tanto el embudo, como las mangueras son químicamente inertes y transparentes (PVC), de manera de poder llevar a cabo inspecciones visuales para verificar que no se tengan condensaciones de la muestra extraída, obstrucciones o depósitos de polvo, durante la operación.

Otro componente de la línea de muestreo, es la bomba de vacío de anillo líquido modelo WRP24, la cual creará el vacío para que la corriente de aire pase por el sistema de colección. Se fija en 6 el número de vueltas en la válvula de succión en la bomba, para garantizar un flujo uniforme y continuo.

Fig. 1. Línea de succión del sistema de muestreo activo para la recolección de emisiones en la torre de destilación por platos.



Sistema de colección de muestras.

Para el muestreo se utiliza como primer sistema de colección carbón activado (ver Fig. 2), donde se lleva a cabo la adsorción en vía seca, de la muestra gaseosa de etanol-agua.

Para el segundo sistema de muestreo se utiliza una solución absorbente contenida en una botella de tipo choque o golpe (Fig.3); donde la corriente de aire muestreado se hace pasar por un tubo de vidrio que tiene un orificio muy fino en un extremo y que está ubicado en una botella, de tal forma, que el orificio queda en el fondo de la misma, entrando el aire muestreado a la botella a una velocidad de 34,7m/s chocando con el fondo, facilitando este hecho la dispersión y mezcla con dicha solución.

Fig. 2. Sistema de recolección activo utilizando carbón activado

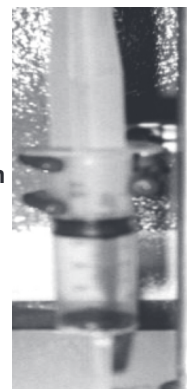
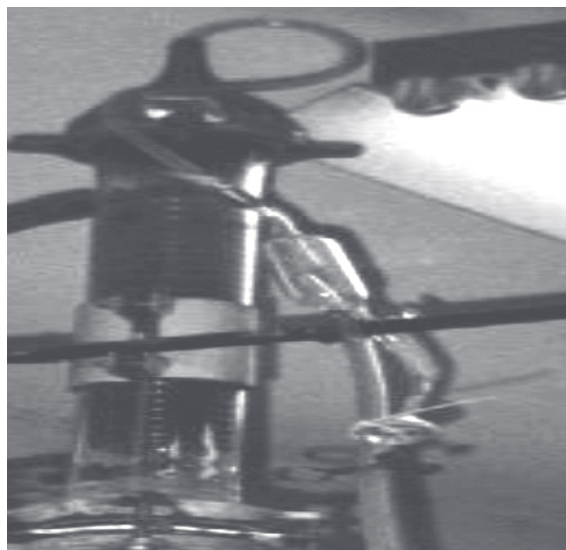


Fig. 3. Sistema de recolección activo utilizando solución absorbente



La solución absorbente está constituida por 5 mL de agua destilada para la torre de destilación y 5 mL una solución de hexano-tolueno (50 % molar) en la torre de extracción sólido-líquido.

Determinación de emisiones.

Muestreo y tratamiento de muestras.

En los equipos estudiados, se instala el sistema de muestreador y recolección de muestras descritos en la sección anterior, se realiza el muestreo durante una semana, considerando el tiempo de operación normal de los equipos durante la realización de las experiencias prácticas para monitorear las emisiones durante la operación normal de los mismos. Para la torre de destilación y extracción el tiempo de muestreo es de 6 horas.

Para la torre de destilación al utilizar carbón activado como medio de recolección, se realiza un lavado del lecho con 3 mL de agua destilada; se mide el índice de refracción del agua de lavado antes y después de efectuar el lavado; la variación del índice representa la existencia etanol en la muestra. En el caso de emplear la solución absorbente, igualmente se mide el índice de refracción antes y después de efectuada la recolección, y su variación representa la existencia hexano para el caso de la torre de extracción sólido líquido.

Para cada una de las muestras se toma por triplicado el índice de refracción de la solución de lavado. Posteriormente se determina el promedio del índice de refracción.

Al obtener la variación de los índices, se determina la concentración molar de los solventes estudiados a saber: etanol y hexano, a través de una curva de calibración del refractómetro Abbe Modelo 320 realizada por Mujica (2003). La variación en el índice de refracción de la muestra analizada, indica la presencia de los solventes estudiados; es decir, para el caso de la torre de destilación mientras mayor sea el índice, mayor es la concentración molar de etanol en la muestra. Caso contrario ocurre para la torre de extracción.

Para conseguir finalmente la concentración en ppm de los solventes se determina: fracción volumétrica de la solución de lavado, variación de los

gramos de etanol o hexano en la solución de lavado o absorbente y el flujo volumétrico de aire extraído (Himmelblau, 1997).

Con el flujo volumétrico en función del número de vueltas de la válvula de la bomba de vacío se construye la curva de calibración para la bomba. La curva permite determinar la cantidad de aire succionado desde los equipos torre de rectificación y extracción, en cada una de las experiencias prácticas realizadas para determinar la concentración de solventes volátiles en las emisiones producto de la puesta en marcha de los equipos mencionados anteriormente. Para las torres el número de vueltas que se fijó en la válvula de la bomba de vacío es de 6; obteniéndose que el flujo volumétrico es de 12,1 m³/s; con éste valor y la diferencia de variación de gramos de etanol en la solución de lavado se determina la concentración de etanol o hexano presente en el aire producto del proceso de destilación o extracción mediante la ecuación 1 (McCabe *et al.*, 2003).

$$ppm = \frac{\Delta G}{Q_{aire}} * F \quad (1)$$

Donde:

ppm= Concentración de etanol o hexano en un muestra de aire, mg/L

ΔG = Variación de los gramos de etanol o hexano, g

Q_{aire} = Flujo volumétrico de aire, m³/s

F= Factor de conversión.

Comparación de resultados.

Una vez obtenidas las concentraciones en ppm de los solventes etanol y hexano, se compararon dichos valores con los reportados acerca de las concentraciones ambientales permisibles en lugares de trabajo y límites de exposición biológicos (COVENIN, 1993).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla I se muestra la variación del índice de refracción de las muestras tomadas para cada equipo, al utilizar como medio de colección carbón activado; dicha variación representa que efectivamente existe la presencia de emisiones de los solventes etanol y hexano durante la operación de 6

Tabla I. Variación del índice de refracción en las muestras recolectadas en las torres de destilación y extracción utilizando carbón activado

Equipo	Tiempo de operación/ hora	Número de vueltas	Índice de Refracción inicial de la solución de lavado	Índice de Refracción final de la solución de lavado
Torre de destilación	6	6	1,3300	1,3460
Extracción sólido-líquido	6	6	1,4111	1,3950

Tabla II. Variación del índice de refracción de las muestras recolectadas en las torres de destilación y extracción utilizando solución absorbente

Equipo	Tiempo de operación/ hora	Número de vueltas	Índice de Refracción inicial de la solución absorbente	Índice de Refracción final de la solución absorbente
Torre de destilación	6	6	1,3300	1,3410
Extracción sólido-líquido	6	6	1,3970	1,3923

horas continuas de los equipos de torre se destilación y extracción sólido líquido.

Al observar los resultados se evidencia para la torre de destilación que el índice de refracción inicial para la solución de lavado (5mL de agua destilada) es de 1,3300 que corresponde con el del agua pura, al finalizar el proceso de recolección de muestra y efectuar el lavado del lecho de carbón activado, la solución obtenida presenta un índice de refracción de 1,3460; mientras que para torre de extracción la solución para efectuar el lavado inicialmente posee un índice de 1,4111 al finalizar el muestreo y efectuar el lavado el índice obtenido es de 1,3950. Para la torre de destilación la variación del índice en 0,016 no es tan significativa, éste hecho se atribuye a la utilización como solución de lavado y adsorbente agua destilada cuya volatilidad es nula frente a la utilizada para la torre de extracción. Donde la mezcla tolueno-hexano es muy volátil, la mayor contribución en este sentido la posee el hexano por tener una presión de vapor mayor a la del tolueno - $P_{\text{vapor Hexano}} = 5,1360$ mmHg, $P_{\text{vapor Tolueno}} = 3,4430$ mmHg- (Smith *et al.*, 2001). En tal sentido, se evaporan 294,275 mg y 520,307 mg de hexano y tolueno respectivamente, trayendo como consecuencia variaciones en los índices de refracción medidos.

En la Tabla II se muestra la variación del índice de refracción de las muestras tomadas para

cada equipo, al utilizar como medio de colección la solución absorbente: La variación indica la presencia de emisiones de los solventes etanol y hexano durante la operación de 6 horas continuas de los equipos de torre se destilación y extracción sólido líquido.

Al observar los resultados se evidencia para la torre de destilación que el índice de refracción inicial para la solución absorbente (5mL de agua destilada) es de 1,3300 que corresponde con el del agua pura, al finalizar el proceso de recolección de muestra la solución presenta un índice de refracción de 1,3410; mientras que para torre de extracción la solución inicial posee un índice de 1,3970 y al finalizar el muestreo el índice obtenido es de 1,3923. Para la torre de destilación la variación del índice en 0,011 no es tan significativa. Por las razones citadas anteriormente al utilizar como medio de colección carbón activado. En este tipo de muestreo se evaporan 176,020 mg y 574,673 mg de hexano y tolueno respectivamente, trayendo como consecuencia variaciones en los índices de refracción medidos.

En la comparación de las concentraciones obtenidas de los solventes etanol y hexano utilizadas en el LIQ, se toma como indicador la concentración ambiental permisible (CAP), definida como la concentración promedio ponderada en tiempo de sustancias químicas a las que se puede estar expuestos repetidamente durante 8 horas diarias y cuarenta

Tabla III. Concentraciones de emisiones de etanol y hexano provenientes de la operación de las torres de destilación y extracción

Medio de muestreo	Equipos	Concentración ppm		Valor máximo permitido, ppm ¹	
		Etanol	Hexano	Etanol	Hexano
Carbón Activado	Torre de Destilación	0,002483	*	1000	*
Solución Absorbente		0,002742			
Carbón Activado	Torre de extracción sólido-líquido		0,001253		
Solución Absorbente		*	0,000758	*	50

¹ COVENIN, 1993

horas semanales sin sufrir daños adversos a la salud. (COVENIN, 1993).

En la Tabla III se muestra la concentración en ppm de las emisiones de etanol en la torre de destilación, obteniéndose como resultando 0,002483 ppm y 0,002742 ppm al utilizar carbón activado y la solución absorbente respectivamente. Al comparar estas concentraciones con la reportada de 1000ppm para el etanol en COVENIN (1993), se evidencia que las emisiones de éste solvente en el LIQ están por debajo de lo permitido en la mencionada norma. En cuanto a la torre de extracción, las emisiones obtenidas son 0,001253 ppm y 0,000758 ppm al utilizar carbón activado y solución absorbentes respectivamente; estos valores se encuentran por debajo de las concentraciones permitidas en COVENIN (1993) para las emisiones de hexano (50ppm). Esta norma establece las concentraciones ambientales permisibles en lugares de trabajo; bien sean polvos, gases o vapores, que debido a sus propiedades pasan al ambiente de trabajo y representan las condiciones bajo las cuales se acepta que pueda estar expuesto el ser humano día tras día sin sufrir efectos adversos a la salud. En función de los resultados obtenidos de emisiones para los equipos torre de destilación y extracción, se evidencia que el LIQ está cumpliendo con esta disposición desde el punto de vista legal y de salud ocupacional.

Por otra parte, al comparar las concentraciones obtenidas para el caso del hexano, con los límites de exposición internacionales en lugares de trabajo propuesto por la Administración de la Salud

y Seguridad Ocupacional (OSHA) de 500 ppm como promedio durante una jornada de trabajo de 8 horas, y con el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) de 50 ppm como promedio durante una jornada de trabajo de 10 horas, se evidencia una vez más que en LIQ se cumple con los estándares internacionales en cuanto exposiciones a lugares de trabajo

CONCLUSIONES

1. Las concentraciones de etanol obtenidas son de 0,002483ppm y 0,002742ppm, al utilizar como medio de colección carbón activado y solución absorbente respectivamente.
2. Las concentraciones de hexano obtenidas son de 0,001253ppm y 0,000758, al utilizar como medio de colección carbón activado y solución absorbente respectivamente.
3. Las concentraciones de hexano y etanol, provenientes de la operación de las torres de destilación y extracción están por debajo de las concentraciones permisibles en lugares de trabajo venezolanas e internacionales.

Determination of volatile solvents in a teaching and research laboratory of chemical engineering, Valencia, Venezuela

SUMMARY

This research aimed to evaluate the emission of volatile solvents in the Laboratorio de Ingeniería

Química of the Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. Distillation and extraction of solid-liquid towers were evaluated using ethanol-water and hexane as extractive solvents, respectively. An active sampler to collect medium gaseous samples and a physical-chemical medium, activated coal and 5mL of absorbent solution of distilled water and 50% molar hexane-toluene mixture, were used. Concentrations of 0.002483 ppm and 0.002742 ppm of ethanol were obtained for the distillation tower and 0.001253 ppm and 0.000758 ppm of hexane for the extraction tower in each medium. These results were compared against Venezuelan standard official regulations (COVENIN, 1993), which led to the conclusion that these concentrations are under the maximum allowed concentrations.

Key words: emission, distillation tower, extraction tower, volatile solvents, COVENIN.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración del personal técnico y docente que labora en el Laboratorio de Ingeniería Química, de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, por su valiosa colaboración en la instalación de los equipos para la recolección de muestras y monitoreo.

REFERENCIAS

- Administración de la Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA 3117). *Información Sobre Los Riesgos de Los Productos Químicos*. [Citado: Marzo, 2003]. Disponible en URL: http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phshome.html
- Canter L. (1999). *Manual de Evaluación de Impacto Ambiental*. TIMUN MAS. 2a edición. Mc Graw Hill, Madrid.
- Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. (1999). Capítulo IX. *De los derechos ambientales* Art.127.
- COVENIN (1993). *Concentraciones Ambientales permisibles en lugares de trabajo y límites de exposición Biológicos*. FONDONORMA 2253-93. 9-28. Venezuela.
- EPA (2003). American Lung Association. Consumer Product Safety Commission. American Medical Association. CEPIS. (1989) [Citado: Enero 2003]. Disponible en URL: <http://www.epa.gov/OWM/wm046200.htm>.
- Frers C. (2006). Aspectos de la salud ambiental. *Rev. Ecol. Medio Amb. Planeta*. [Citado: 24 Marzo 2006] Disponible en URL <http://www.astrolabio.net/revistas/articulos/EEuEuEyluANlkcQre.php>
- Himmelblau D. (1997). *Balances de Materia y Energía*. 6a edición. Prentice-Hall Hispanoamericana S.A. México
- Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional. (NIOSH). *Calidad ambiental interior* (IEQ). [Citado: 24 Marzo 2006] Disponible en URL: http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phshome.html
- Lezaun M. (2003). Intoxicaciones de origen laboral. *Anales Sis San Navarra*. **26** (Supl.1): 265-273 [Citado 24 Marzo 2006]. Disponible en URL: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S113766272003000200016&lng=es&nrm=iso
- Martinez A. & Romieu I. (2003). Revisión de metodologías existentes. En: *Introducción al monitoreo atmosférico*. [Citado: Septiembre 2003]. Disponible en URL: <http://www.cepis.ops-oms.org>.
- Mateos F. (1997). Sistemas de Vigilancia continua de emisiones. *Rev. Ing. Quím*. **336**: 79-86.
- McCabe W., Smith J. C. & Harriott P. (2003). *Operaciones Unitarias de Ingeniería Química*. 6a edición. McGraw Hill. Madrid
- Mujica V. (2003). *Establecimiento de un sistema de gestión ambiental bajo la normativa ISO 14000 en el laboratorio de Ingeniería Química de la*

Universidad de Carabobo. Trabajo especial de grado no publicado. Universidad de Carabobo. Área de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería. Venezuela.

Smith J., Van Ness H. & Abbott M. (2001). *Introducción a la termodinámica en Ingeniería Química*. 6a edición. McGraw Hill. Madrid.

Seinfeld J. (2004). *Contaminación atmosférica: fundamentos físicos y químicos*. 6a edición. McGraw Hill, Madrid.

Recibido el 16/01/2006
Aprobado el 24/04/2006
