

**Determinación de la exposición a humos de asfalto en trabajadores de carreteras.**

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene  
Ambiental  
Laboratorio de Higiene Analítica**

**Informe Final de Proyecto**

**Determinación de la exposición a humos de asfalto en  
trabajadores de carreteras.**

**Investigadoras:  
María de Lourdes Medina E.  
María Gabriela Rodríguez Zamora.**

**Junio 2009**

## Documento 1

---

## **Resumen**

El asfalto es ampliamente utilizado en construcciones de pavimento, techado, impermeabilización y otras aplicaciones industriales. En estudios realizados sobre los efectos tóxicos por exposición a humos de asfalto se han evidenciado síntomas de irritación aguda de ojos, nariz y garganta. Se realizó un estudio exploratorio de corte transversal para determinar los niveles de exposición a humos de asfalto de trabajadores que se dedican a labores de asfaltado de carreteras. Se recolectaron 86 muestras personales para evaluar exposición a Material Particulado Total (MPT) y Fracción Soluble en Benceno (FSB), utilizando como referencia el método de muestreo y análisis de NIOSH 5402. El estudio incluyó ocho proyectos de bacheo y seis de carpeteo en cinco empresas distintas contratadas por CONAVI en las regiones de San José, Heredia, Guanacaste y Cartago. Se obtuvieron concentraciones promedio para MPT de  $0,37 \text{ mg/m}^3$  y para FSB de  $0,08 \text{ mg/m}^3$ . Los límites de confianza calculados no sobrepasaron, en ninguno de los casos, los criterios ocupacionales establecidos por la ACGIH y la normativa nacional INTE-31-08-04-01, confirmando una situación de cumplimiento. Las concentraciones para material particulado fueron bajas comparadas con otros estudios, sin embargo las de FSB se encontraron dentro del ámbito reportado por otros autores. Aunque los parámetros de tendencia central para FSB no sobrepasaron la normativa, se encontraron 12 muestras con valores por encima del nivel de acción y dos por encima de la norma, no obstante no fue posible relacionar estas concentraciones con alguna condición específica. Para FSB las concentraciones más altas se encontraron en puestos de palero y rastrillero, ambos trabajadores de una misma empresa. No se encontraron diferencias significativas en las concentraciones reportadas al comparar por tipo de proyecto, empresa y puesto de trabajo debido muy probablemente a la gran dispersión de los datos.

### **Frases clave:**

Humos de asfalto, fracción soluble en benceno, material particulado total, trabajadores de carreteras.

## Índice

Resumen .....	3
Índice .....	4
Introducción .....	5
Antecedentes: .....	5
Definición del problema .....	5
Objetivos .....	6
General .....	6
Específicos .....	6
Revisión de la Literatura.....	7
Materiales y métodos.....	8
Resultados y Discusión.....	10
Conclusiones y Recomendaciones .....	15
Aportes y Alcances.....	16
Bibliografía .....	17

## **Introducción**

### ***Antecedentes:***

En Costa Rica, las instituciones que se encargan de las contrataciones para construcción y conservación de carreteras son el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) y algunas Municipalidades. El CONAVI se creó en 1998 para asumir funciones importantes que tradicionalmente había desarrollado el MOPT. Su ámbito de acción se circunscribe a la Red Vial Nacional. Por otro lado, el MOPT y las Municipalidades cuentan con cuadrillas propias de trabajadores que se encargan de bacheo y recarpeteo de la Red Vial Cantonal.

En el año 2007, la Dirección de Conservación Vial de CONAVI tenía en curso la licitación LP-01-2005 que incluía proyectos en 22 zonas de todo el país. Las empresas constructoras contratadas por esta institución fueron: Santa Fe Ltda.; MECO; CONANSA; M y S; Sánchez Carvajal; CONVISUR y CONVICAR (12).

Según datos aportados por la Dirección Administrativa Financiera de CONAVI, el presupuesto del Gobierno para esta institución en el año 2007 contempló ¢36914,2 millones destinados a conservación vial y ¢55314,4 millones para construcción vial (13).

De acuerdo con datos estadísticos aportados por el Instituto Nacional de Seguros, en su sección de Riesgos del Trabajo, existen 127 pólizas y 2696 trabajadores asegurados para la actividad económica específica de construcción de carreteras y acueductos (14). Estas cifras no corresponden al total de trabajadores que se dedican a esta actividad, ya que sólo incluyen algunas empresas privadas y no contemplan a los trabajadores del MOPT ni de las Municipalidades.

En un estudio previo del sector, realizado durante el 2007 (25) y en el que se evaluaron riesgos ergonómicos e higiénicos, se encontró que los aplicadores de asfalto en carreteras presentaban problemas de postura, sobre-exposición a ruido en algunos puestos de trabajo y signos de estrés térmico. Además, se obtuvieron valores de concentración de monóxido de carbono mayores a la norma en los puestos de controlador de tránsito y peón de alcantarillado.

El presente estudio pretendió generar información acerca de los niveles de exposición a humos de asfalto, a partir de evaluaciones de material particulado y la fracción soluble en benceno, en un grupo piloto de empresas y de esta forma contribuir a la caracterización de las condiciones laborales de los trabajadores.

### ***Definición del problema***

El asfalto (o bitumen) es un residuo oscuro que resulta de la destilación no destructiva del aceite de petróleo crudo (1); es ampliamente utilizado en construcciones de pavimento, techado, impermeabilización y otras aplicaciones industriales debido a sus valiosas propiedades, incluyendo características adhesivas, flexibilidad, durabilidad, resistencia al agua y habilidad para formar mezclas cohesivas fuertes con agregados minerales (2). A temperatura y presión estándar se encuentra en estado sólido. Cuando se calienta libera vapores que al enfriarse se condensan en la forma de humos de asfalto. Estos humos son partículas sólidas suspendidas en el aire sobre el material fundido y típicamente tienen un diámetro menor o igual a 12,5 µm (3).

En estudios realizados sobre los efectos tóxicos agudos por exposición a humos de asfalto en trabajadores, se han evidenciado repetidamente síntomas de irritación de ojos, nariz y garganta, dolor

## **Determinación de la exposición a humos de asfalto en trabajadores de carreteras.**

de cabeza, tos, irritación de piel, prurito, náuseas, dolor de estómago, disminución del apetito y fatiga (4, 16, 17).

Las evaluaciones de exposición personal para aplicadores de asfalto en techos, muestran concentraciones que varían desde 0,01 hasta 0,42mg/m<sup>3</sup> (fracción soluble en benceno) y muestreos de área en este mismo tipo de trabajo arrojan valores de hasta 10,5mg/m<sup>3</sup> (4). Otros estudios realizados entre 1995 y 1999 reportaron concentraciones máximas entre 1,3 y 3,7 mg/m<sup>3</sup> para muestras personales donde se analizó la fracción soluble en benceno (1, 15).

En Costa Rica no se tiene información disponible que revele los niveles de exposición ocupacional a humos de asfalto de los trabajadores de carreteras. Sin embargo, debido a que un sector importante de la población laboral se dedica a esta actividad y que la temperatura de trabajo en la cual se aplican las capas de asfalto favorece la exposición de los trabajadores, se considera necesario realizar un estudio para conocer estos niveles de exposición ocupacional.

### ***Objetivos***

#### **General**

Contribuir al mejoramiento de las condiciones de salud de los trabajadores de carreteras que usan asfalto, mediante la determinación de los niveles de exposición a material particulado total (MPT) y fracción de asfalto soluble en benceno (FSB) en una muestra de las empresas constructoras y el ofrecimiento de recomendaciones en aquellos casos en que exista incumplimiento con la norma establecida.

#### **Específicos**

- Identificar los niveles de exposición ocupacional a material particulado total y compuestos solubles en benceno presentes en el asfalto que usan los trabajadores de las empresas constructoras de carreteras escogidas en este proyecto.
- Establecer una comparación de los niveles de exposición ocupacional a MPT y FSB entre puestos de trabajo, en cada empresa constructora de carreteras seleccionada para el estudio.
- Establecer una comparación de los niveles de exposición ocupacional a MPT y FSB entre las empresas constructoras.

## **Revisión de la Literatura**

Existen muchos tipos de asfalto, con distintas composiciones de hidrocarburos. Los rangos de tamaño de las moléculas afectan considerablemente su viscosidad y la temperatura de operación; sin embargo, se ha demostrado que, al calentar dentro de los rangos de temperatura de trabajo, los diferentes tipos de asfalto generan humos cualitativamente similares ya que sólo las moléculas pequeñas pueden volatilizarse y recondensarse como humos (4).

Desde 1977 se han reportado síntomas de irritación de ojos, nariz y garganta en trabajadores expuestos a concentraciones medias geométricas aún por debajo de  $1 \text{ mg/m}^3$  como material particulado total y  $0,3 \text{ mg/m}^3$  de partículas solubles en benceno (5). También se han presentado algunos casos de bronquitis; sin embargo, los datos son insuficientes para concluir que la bronquitis puede ser causada por exposición ocupacional a estos humos (4).

La compleja composición química del asfalto, que incluye compuestos alifáticos, alcanos cíclicos, hidrocarburos aromáticos policíclicos y compuestos heterocíclicos conteniendo nitrógeno, oxígeno y azufre, dificulta la identificación de los componentes específicos responsables de los efectos adversos a la salud en trabajadores expuestos (6). La detección ocasional de benzo(a)pireno, B(a)P, y otros hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) cancerígenos en los humos de asfalto generados en los sitios de trabajo indican que, bajo ciertas condiciones, principalmente a altas temperaturas, es posible que los humos de asfalto contengan estos agentes cancerígenos.

Entre trabajadores de pavimentado con asfalto se reportan comúnmente síntomas agudos asociados a la exposición como irritación de ojos, dificultad para respirar, asma, dolor de garganta y tos (21, 22, 23,24).

Estudios epidemiológicos en esta población han generado información que relaciona la exposición con el riesgo de contraer diferentes tipos de cáncer, (pulmón, estómago, leucemia y piel); sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, la dependencia entre estas variables no es del todo clara (20). Aunque en algunos de los estudios se reportó un elevado riesgo, ciertas limitaciones de diseño imposibilitaron llegar a plantear una conclusión al respecto, debido a la presencia de agentes interferentes en el lugar de trabajo, como el fumado, coexposición al alquitrán, al sílice, a los asbestos, entre otros, que también son potenciales cancerígenos (7,8).

Investigadores en Estados Unidos y Europa han intentado crear modelos matemáticos que puedan predecir exposición a humos de asfalto, sin embargo han encontrado grandes limitaciones debido a la gran cantidad y variabilidad de factores que influyen en la obtención de resultados. A pesar de esto, algunos autores concuerdan en que la temperatura de aplicación, la tarea y el tipo de asfalto son determinantes que deben ser tomados en cuenta. (18, 19)

La American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) recomienda un valor límite de concentración en el aire de  $0,5 \text{ mg/m}^3$  de material particulado inhalable (como fracción soluble en benceno) (9). Este dato corresponde al valor umbral límite (TLV-TWA), que es la concentración a la que los trabajadores pueden estar expuestos sin presentar efectos adversos a la salud durante su vida laboral (8 horas diarias, cuarenta horas semanales, durante 40 años), mientras que el National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) recomienda un límite de exposición de  $5 \text{ mg/m}^3$  (como material particulado total durante un período de 15 minutos). La Occupational Safety and Health Agency (OSHA) no tiene estándar de exposición para humos de asfalto (10). En Costa Rica, estos valores límite están normados por el Instituto de Normas Técnicas (INTECO) en la norma INTE 31-08-04-01, y para los humos de asfalto, el valor máximo permitido (TLV-TWA) es de  $5 \text{ mg/m}^3$  (11).

## **Materiales y métodos**

El estudio fue de tipo exploratorio, transversal con bases descriptivas, ya que con él se pretendía tener un panorama general de las concentraciones de humos de asfalto a las que se exponen los trabajadores de carreteras cuando realizan labores de bacheo y colocación de carpeta asfáltica.

Primero se aplicó una encuesta higiénica a las empresas contratadas por CONAVI, previa autorización por parte del Director de Obras de esta entidad. La encuesta se utilizó con el fin de recopilar información acerca de la empresa constructora, como número de trabajadores, jornada laboral, descripción del proceso, tareas que se realizan, puestos de trabajo más críticos (de mayor exposición a humos de asfalto), síntomas o enfermedades comunes, entre otros. Una vez aplicada la encuesta higiénica se procedió a plantear la estrategia de muestreo, tomando en cuenta el número de trabajadores de cada empresa y escogiendo a los que se encontrarán más expuestos a humos de asfalto en cada cuadrilla.

Las fechas para las visitas de inspección y de muestreo fueron coordinadas con los ingenieros a cargo de cada proyecto. Se tomó como grupo piloto a cinco de las siete empresas constructoras que tenían contratos con el CONAVI. Lo anterior debido a que estas empresas ya tenían proyectos adjudicados y contaban con el mayor número de cuadrillas de trabajadores. Con la información obtenida a partir de las entrevistas, se identificaron los siguientes puestos de trabajo: encargado de proyecto, palero, rastrillero, planchero, banderillero, operador del Finisher, operador de la compactadora, tovero, chofer del Backhoe y operador del llanta de hule. Por lo general las cuadrillas constan de 12 trabajadores, de los cuales se escogieron para el estudio los paleros, rastrilleros, plancheros y choferes de backhoe y finisher, por ser los puestos de exposición más directa a los humos de asfalto. El estudio incluyó seis proyectos de carpeteo y ocho de bacheo, ubicados en las provincias de Guanacaste, Heredia, Cartago y San José. Se utilizó como referencia el método NIOSH 5042 para la recolección de las muestras y la cuantificación de material particulado total y fracción de asfalto soluble en benceno. Para efectuar el muestreo se utilizaron filtros de membrana de politetrafluoroetileno (PTFE) de 37mm y un tamaño de poro de 2 $\mu$ m, con soportes de celulosa, cassettes de 37mm, sellos de celulosa, bombas de muestreo personal a un flujo promedio de 2 L/min, tubos flexibles y un calibrador de flujo digital.

Las actividades realizadas por los trabajadores durante el muestreo fueron registradas en bitácoras, con el fin de tener la mayor cantidad de información posible para poder caracterizar la exposición a los humos de asfalto. Se recolectaron 86 muestras (sin contar los blancos de campo), las cuales fueron analizadas en el Laboratorio de Higiene Analítica, ubicado en la Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Los datos obtenidos de ambos agentes químicos se analizaron usando estadística descriptiva, para determinar el tipo de distribución de los datos. Una vez que se aplicó la prueba de normalidad, se calcularon los parámetros de tendencia central y límites de confianza de acuerdo al tipo de distribución de los datos. Además, para los casos en los que la distribución de frecuencias fue log-normal, se utilizó el estimador de máxima probabilidad (MLE) como mejor indicador del promedio, para determinar la situación de exposición de los trabajadores. Con el fin de definir el criterio para las concentraciones no detectables, se tomó como base el trabajo de Hornung y Reed (26) en el cual se estudia el error asociado con la estimación de la media de exposición cuando se tienen lecturas inferiores a los límites de detección. Para efecto de poder realizar los cálculos necesarios para hacer inferencias estadísticas, se introdujo como valor de la concentración para estas lecturas, el equivalente a 0,5 veces el límite de detección.

## **Determinación de la exposición a humos de asfalto en trabajadores de carreteras.**

Las concentraciones obtenidas para exposición a MPT se compararon con el valor máximo permisible (TLV-TWA) para una jornada de ocho horas, establecido en la normativa INTE-31-08-04-01 de  $5 \text{ mg/m}^3$  y las de FSB con el criterio establecido en la normativa ACGIH del año 2009, que es de  $0,5 \text{ mg/m}^3$ .

Para realizar las comparaciones entre los resultados obtenidos para diferentes puestos de trabajo, empresas y tipos de proyectos, se utilizó la estadística inferencial, específicamente análisis de varianza (ANOVA), pruebas de homogeneidad, Tukey y comparaciones de medias, por medio del software estadístico SPSS (versión 17).

## Resultados y Discusión

Se identificaron dos tipos de proyectos: bacheo y carpeteo. El bacheo consiste en la aplicación de asfalto sobre huecos en las carreteras. Primero se corta con sierra un cuadrante y por medio del backhoe se levanta y remueve la capa de asfalto que se encuentra dañada. Luego los peones (paleros y rastrilleros) proceden a limpiar la zona, a la cual después se le aplica una emulsión con distribuidor de asfalto desde una tanqueta. Posteriormente, se vierte el asfalto, el cual se encuentra a una temperatura de 155 °C. Los paleros se encargan de esparcirlo uniformemente, mientras que los rastrilleros moldean las orillas. Por último se procede a enfriar y nivelar la capa colocada por medio de una compactadora. El proyecto de carpeteo implica la colocación de una carpeta asfáltica completa, para lo cual se requiere que la superficie no posea grandes huecos. En este caso se debe contar con un Finisher, sobre el cual se encuentran el operador del mismo y el planchero que se encarga de monitorear el espesor de la capa aplicada por el Finisher. Los paleros se encargan de ir descargando el asfalto de la tolva del Finisher y los rastrilleros forman los bordes de la carretera.

Las jornadas de trabajo no superaron las 8 horas diarias y la duración dependía del proyecto y la cantidad de asfalto disponible para realizarlo. En promedio la duración de los muestreos fue de 4,5 horas.

Con el fin de conocer los síntomas más frecuentes presentados entre los trabajadores que formaron parte de la muestra de estudio y que, según datos reportados en la literatura, se pueden asociar con exposición a humos de asfalto, se aplicó un cuestionario a 39 individuos y los resultados más relevantes se observan en la figura 1.

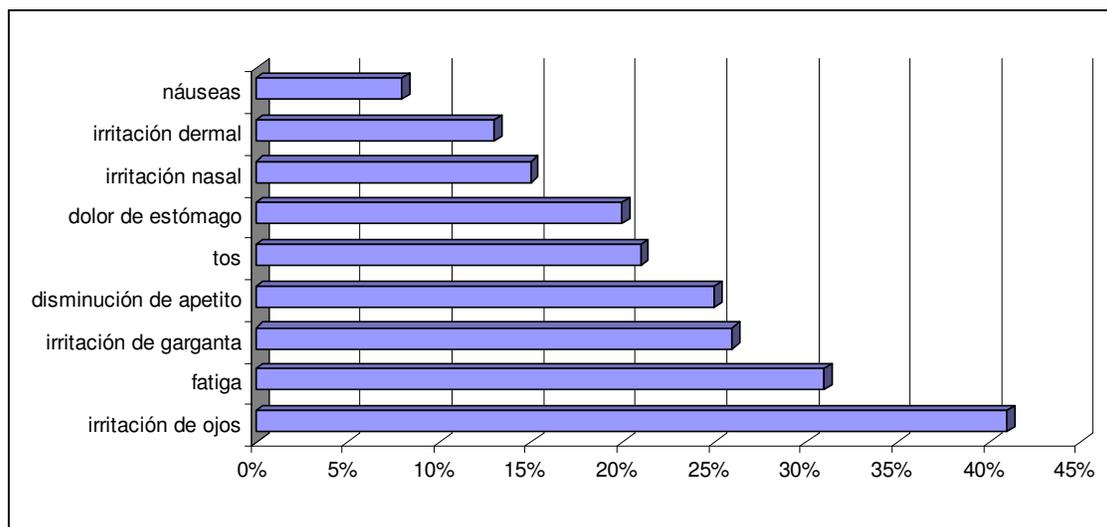


Figura 1: Porcentaje de trabajadores que reportó síntomas asociados con exposición a humos de asfalto

Se puede observar que más del 40% de los trabajadores entrevistados ha presentado irritación de ojos durante o al finalizar la jornada y más del 25% han sufrido fatiga e irritación de garganta. No se recolectó información sobre enfermedades crónicas por encontrarse fuera del alcance del proyecto.

Este estudio tampoco contempló mediciones de tipo biológico para comparar los datos recolectados de la exposición inhalatoria con efectos sobre la salud de los trabajadores.

Cabe destacar que, aunque se reportaron síntomas agudos que pueden ser asociados a este tipo de contaminantes, la mayoría de los trabajadores afirmaron realizar otras actividades que propician las mismas patologías. Del total de trabajadores que afirmaron padecer alguno(s) de los síntomas

## Determinación de la exposición a humos de asfalto en trabajadores de carreteras.

presentados en la figura 1, el 48% son fumadores actualmente, el 21% fumaba y ya dejó de hacerlo, y el 79% consume licor. Además, el 56% ha trabajado en labores de construcción y el 7% en fabricación de vidrio. Otro factor importante a considerar es el hecho de que los trabajadores, principalmente paleros y rastrilleros, durante sus labores constantemente deben estar lavando las palas y rastrillos con diesel para evitar que el asfalto se seque y quede adherido a estas herramientas. Los vapores de los compuestos orgánicos volátiles presentes en el diesel también son agentes irritantes de piel y vías respiratorias y es probable que los síntomas que aquejan a estos trabajadores no se deban únicamente a su exposición a humos de asfalto, sino que sean el resultado de un efecto aditivo de todos estos factores.

Para cuantificar la exposición inhalatoria se recolectaron 86 muestras personales, correspondientes a trabajadores de las cinco empresas de pavimentado de carreteras seleccionadas previamente, en el periodo comprendido entre marzo de 2008 y abril de 2009. El estudio incluyó ocho proyectos de bacheo y seis de carpeteo. Para cada muestra se calculó la concentración de Material Particulado Total (MPT) y la Fracción Soluble en Benceno (FSB). De las 86 muestras que fueron recolectadas para el análisis, 46 correspondieron a proyectos de bacheo y 37 a carpeteo. Además, se incluyó como parte de la muestra una planta de fabricación de asfalto, aunque sólo fue posible muestrear a dos trabajadores (soldador y supervisor).

Siete de las 86 muestras del estudio no fueron consideradas para el cálculo de las concentraciones de FSB, debido a errores aleatorios durante el análisis que ocasionaron que las masas calculadas de FSB fueran mayores a las de MPT. Los límites de detección (LD) obtenidos en el laboratorio para MPT y para FSB fueron de 0,10 y 0,036 mg/m<sup>3</sup> respectivamente.

Se elaboraron histogramas para mostrar la distribución de las concentraciones de los dos agentes evaluados en los humos de asfalto.

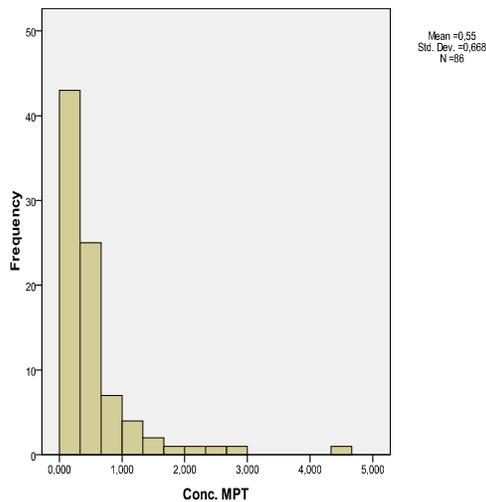


Figura 2. Histograma de distribución de frecuencias para las concentraciones de MPT en mg/m<sup>3</sup>

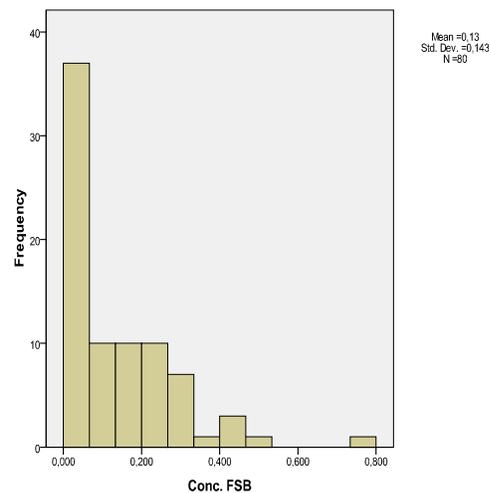


Figura 3. Histograma de distribución de frecuencias para las concentraciones de FSB en mg/m<sup>3</sup>

Las figuras 2 y 3 muestran la distribución, sin tratamiento, de los resultados de MPT y FSB, y es posible observar con claridad un importante sesgo a la derecha, patrón que coincide con las distribuciones referidas en la literatura para los valores de concentraciones en ambientes laborales. (27)

## Determinación de la exposición a humos de asfalto en trabajadores de carreteras.

Para poder hacer inferencias correctas sobre las concentraciones de las muestras obtenidas, se calcularon los parámetros de tendencia central y dispersión que pudieran indicar el comportamiento general de los datos, con el fin de conocer la distribución de las concentraciones evaluadas, los cuales se muestran en el cuadro No. 1. Para ambos tipos de agentes, pueden observarse las primeras no-conformidades de un comportamiento normal: la desviación geométrica estándar excede el valor de 1,44 (28), sugerido por NIOSH como un criterio de exclusión para examinar la normalidad de los datos y además se indica que la media aritmética es superior a la media geométrica en las evaluaciones, ratificando la no normalidad de las concentraciones.

*Cuadro 1. Parámetros de tendencia central para las concentraciones de humos de asfalto en mg/m<sup>3</sup>.*

	Promedio Ponderado (desviación estándar)	Media Geométrica	Desviación Geométrica Estándar	Estimador de máxima probabilidad (MLE)	Límite Superior de Confianza	Límite Inferior de Confianza
MPT	0,58 (0,67)	0,37	2,6	0,57	0,70	0,28
FSB	0,13 (0,14)	0,08	3,4	0,14	0,20	0,04

Se practicó una transformación logarítmica a las concentraciones de MPT y FSB, y luego se calcularon las medidas de tendencia central para esta distribución, por ser la que describe mejor el comportamiento de los datos, lo cual es consistente con los resultados de las investigaciones de Rappaport y Selvin (29) para este tipo de evaluaciones.

En otras investigaciones sobre exposición a humos de asfalto, se reportan resultados similares a los obtenidos con el presente estudio.

*Cuadro 2. Concentraciones de exposición ocupacional en mg/m<sup>3</sup> a humos de asfalto en operaciones de producción de asfalto, techado y pavimentado de carreteras. Comparación del presente estudio con estudios previos.*

Estudio	Media Geométrica (mg/m <sup>3</sup> )	Media Geométrica (mg/m <sup>3</sup> )
	FSB (N) <sup>1</sup>	MPT (N)
Hicks (15), 1995	0,27 (38)	1,4 (38)
Gamble (1), 1999	0,08 (77)	0,60 (77)
Calzavara (4), 2003	0,09 (58)	0,74 (58)
Presente	0,08 (79)	0,37 (86)

Como se observa en el cuadro 2, el valor promedio de exposición para FSB, obtenido en el presente estudio, se encuentra en el rango reportado de exposición a humos de asfalto. Para MPT la media geométrica fue la menor de todas, y aunque se obtuvo una desviación geométrica alta, los valores máximos resultaron menores a los reportados en los estudios citados.

Ninguna de las muestras de MPT superó el valor establecido en la norma, indicando una situación de cumplimiento. Con respecto a la FSB, dos de las muestras analizadas presentaron concentraciones que superaron el valor de TLV-TWA establecido por la ACGIH y doce se encontraron por encima del nivel de acción.

Con respecto a los diferentes tipos de proyecto muestreados (bacheo y carpeteo), los resultados se muestran en el cuadro 3.

<sup>1</sup> N: número de muestras.

## Determinación de la exposición a humos de asfalto en trabajadores de carreteras.

Cuadro 3. Valores de tendencia central en  $\text{mg}/\text{m}^3$  de las concentraciones según tipo de proyecto muestreado

Tipo de Proyecto	Estimador de máxima probabilidad MPT (DGE)	Rango MPT	Estimador de máxima probabilidad FSB (DGE)	Rango FSB
Bacheo	0,50 (2,4)	0,05 – 1,6	0,16 (3,8)	0,018 – 0,77
Carpeteo	0,69 (3,0)	0,05 – 2,6	0,13 (3,3)	0,018 – 0,44

Los valores promedio para las concentraciones de ambos agentes se encuentran por debajo del nivel de acción. Aunque las labores realizadas en cada tipo de proyecto son diferentes, el análisis de varianza indicó que no hay diferencias significativas entre la exposición de los trabajadores.

Para llevar a cabo las labores de carpeteo, generalmente se utiliza mayor cantidad de asfalto, maquinaria específica como el Finisher y puestos de trabajo adicionales como planchero y tolvero. Estos últimos reciben la influencia directa de los humos que se desprenden de la maquinaria tanto durante el proceso de descarga desde las vagonetas como en la aplicación del asfalto, razón por la cual presentaron las concentraciones más altas de MPT. Sin embargo, debido a la gran dispersión de los datos, no se encontró diferencia significativa entre estas concentraciones y las de los demás puestos muestreados.

Cuadro 4. Valores de tendencia central en  $\text{mg}/\text{m}^3$  para los diferentes puestos de trabajo muestreados

Puesto de trabajo	Estimador de máxima probabilidad MPT (DGE)	Rango MPT	Estimador de máxima probabilidad FSB (DGE)	Rango FSB
Palero	0,53 (2,2)	0,05 – 2,02	0,17 (3,8)	0,02 – 0,77
Rastrillero	0,46 (2,6)	0,05 – 1,6	0,14 (3,3)	0,02 – 0,50
Planchero	1,52 (5,0)	0,05 – 4,5	0,15 (4,1)	0,02 – 0,28
Tolvero*	1,72 (1,8)	0,05 – 2,70	0,12 (0,04)	0,08 – 0,14
Operador de Finisher	0,33 (2,5)	0,05 - 0,69	0,27 (3,7)	0,018 – 0,30
Operador de Backhoe	0,59 (2,1)	0,17 - 0,98	0,23 (4,2)	0,02-0,46

\*Para el puesto de tolvero se obtuvieron muy pocas muestras por lo que los valores reportados corresponden al promedio ponderado y desviación estándar normales.

En el cuadro 4 se puede observar que para la FSB las concentraciones individuales más altas se obtuvieron para puestos de palero y rastrillero; sin embargo, en promedio, los puestos con mayor exposición fueron los operadores de maquinaria (Finisher y Backhoe) con valores cercanos o por encima del nivel de acción.



Figura 4: Palero descargando asfalto del Finisher



Figura 5: Paleros y rastrilleros durante la descarga de vagoneta con asfalto

## Determinación de la exposición a humos de asfalto en trabajadoras de carreteras.

Para cada agente evaluado se efectuaron pruebas de varianza y no se encontró diferencia significativa entre la exposición para los diferentes puestos de trabajo.

No se registraron en las bitácoras de muestreo actividades adicionales o fuera de lo normal para aquellos trabajadores cuyas concentraciones de FSB superaron el nivel de acción o la normativa. Es posible que algunas posturas de trabajo o incluso la distancia a la que se encuentren los trabajadores con respecto a la fuente de humos de asfalto sean factores que puedan generar cambios importantes en las concentraciones. Por ejemplo, para el trabajador con la concentración de FSB más alta ( $0,77\text{mg}/\text{m}^3$ ) se registra en la bitácora que se encontraba ubicado cerca de la vagoneta durante las descargas de asfalto, mientras sus compañeros estuvieron más alejados.

En el cuadro 5 se presentan valores promedio de cada contaminante para cada una de las cinco empresas incluidas en el estudio, calculados asumiendo una distribución lognormal.

Cuadro 5. Valores de tendencia central en  $\text{mg}/\text{m}^3$ , separados por empresa

Empresa	Estimador de máxima probabilidad MPT (DGE)	Rango MPT	Estimador de máxima probabilidad FSB (DGE)	Rango FSB
A	0,34 (1,6)	0,15 – 0,69	0,22 (3,8)	0,018 – 0,44
B	0,15 (5,0)	0,05 – 2,7	0,10 (3,0)	0,018 – 0,33
C	0,34 (1,1)	0,17 – 0,77	0,13 (3,1)	0,018 – 0,29
D	0,71 (3,0)	0,05 – 1,79	0,30 (3,0)	0,018 – 0,77
E	0,86 (2,0)	0,05 – 0,56	0,04 (3,0)	0,018 – 0,41

A partir de la información presentada se puede observar que los valores reportados para las empresas no sobrepasan el criterio máximo de exposición laboral para ambos agentes químicos; sin embargo, en el caso de las concentraciones de FSB de la empresa D se alcanza el nivel de acción. Esta misma empresa fue la que reportó los dos valores de concentración que sobrepasaron el estándar para este agente.

Durante el análisis de los resultados, se consideraron algunas otras variables que podrían tener alguna influencia, como cantidad de asfalto utilizado y temperatura ambiental. Las temperaturas ambientales variaron desde los  $15\text{ }^\circ\text{C}$  (en el Cerro de la Muerte) hasta los  $43\text{ }^\circ\text{C}$  (en Guanacaste); sin embargo, no fue posible encontrar algún patrón o concordancia entre las temperaturas ambientales y los resultados obtenidos, que dejara entrever alguna relación.

De igual manera se registró en las bitácoras la cantidad de asfalto que se aplicó durante cada muestreo, pero la cantidad de datos no permite establecer ninguna dependencia. Se registraron descargas de hasta 18 vagonetas para proyectos de carpeteo en un día; sin embargo, se encontraron concentraciones mayores de FSB en proyectos de bacheo con sólo tres vagonetas durante la jornada.

No fue posible conseguir información sobre la composición de la mezcla asfáltica que se aplicó en cada uno de los proyectos muestreados. En la literatura se señala que esta variable influye de forma importante en la exposición, sin embargo en el presente estudio no se pudo corroborar esta premisa debido a que los encargados de los proyectos desconocían el dato.

Además de los factores mencionados, existieron otros que no fueron controlados y que pudieron influir en los resultados obtenidos, como por ejemplo velocidad y dirección del viento, jornada, tipo de trabajador (proactivo), prácticas de trabajo, estado de la maquinaria utilizada, etc., lo que coincide con estudios en los que otros autores han intentado hacer modelos matemáticos para predecir la exposición a humos de asfalto y debido a la gran variabilidad de las causas que inciden en las concentraciones, no se ha podido establecer un prototipo que pueda ser comprobado y reproducido.

## **Conclusiones y Recomendaciones**

- Todas las muestras analizadas presentaron concentraciones inferiores al estándar, para MPT. Los límites de confianza calculados ratifican el cumplimiento con las normativas utilizadas.
- Para FSB, doce muestras registraron concentraciones por encima del nivel de acción y dos por encima del estándar, sin embargo los parámetros de tendencia central indican cumplimiento con la norma.
- Las concentraciones de MPT más altas se obtuvieron en las operaciones de carpeteo y dentro de éstas, en los puestos de tolvero y planchero. Para FSB las concentraciones más altas se encontraron en puestos de palero y rastrillero, ambos trabajadores de una misma empresa.
- No se encontraron diferencias significativas al comparar las concentraciones de los agentes estudiados entre tipos de proyecto, puestos de trabajo o empresas constructoras, lo que implica una exposición bastante homogénea de los trabajadores.
- Los trabajadores reportaron síntomas asociados a exposición a humos de asfalto como irritación de ojos y garganta, fatiga y tos; por lo que se recomienda mantener un monitoreo de la exposición para evitar problemas más serios de salud en el futuro.

## **Aportes y Alcances**

El proyecto proporcionó a los empresarios un panorama general de la exposición a humos de asfalto de los trabajadores que laboran en el pavimentado de carreteras. Con la información proporcionada fue posible determinar que hay cumplimiento en cuanto a exposición a polvo total y fracción soluble en benceno. Sin embargo, es importante mencionar que a pesar de que los valores de tendencia central encontrados fueron bajos, algunas concentraciones para FSB sobrepasaron el nivel de acción y la normativa aplicada. Aunque el estudio no incluyó muestreos biológicos, los trabajadores reportaron síntomas asociados con este tipo de exposición, por lo que se recomienda mantener un monitoreo periódico para evitar posibles daños a la salud a futuro.

Los resultados del proyecto fueron presentados ante representantes de varios sectores (incluyendo construcción de carreteras) el 22 de septiembre del 2009, durante la Feria Industrial que organizó el Instituto Nacional de Seguros como parte de las actividades para la celebración del día mundial de la salud ocupacional.

## Bibliografía

- (1) Gamble, J. F.; Nicolich, M. J.; Barone, N. J.; Vincent, W. J. *Exposure-response of asphalt fumes with changes in pulmonary function and symptoms*. Scand. J. Work. Environ Health. 25: 186-206 (1999).
- (2) King, R. W.; Puzinauskas, V. P.; Holdsworth, C. E. *Asphalt Composition and Health Effects: A Critical Review*. Washington, D. C: American Petroleum Institute, 1984.
- (3) Brandt, H.C.A.; De Groot, P.C. *A Laboratory Rig for Studying Aspects of Worker Exposure to Bitumen Fumes*. Am. Indus. Hyg. Assoc. J. 60:182-190 (1999).
- (4) Calzavara, T. S.; Carter, C. M.; Axten, C. *Air Sampling Methodology for Asphalt Fume in Asphalt Production and Asphalt Roofing Manufacturing Facilities: Total Particulate Sampler versus Inhalable Particulate Sampler*. Applied Occupational and Environmental Hygiene. 18(5):358-367 (2003).
- (5) National Institute of Occupational Safety and Health: *Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Asphalt Fumes*. DHEW (NIOSH). Publicación No. 78-106. NIOSH, Cincinnati, OH (1977).
- (6) National Institute of Occupational Safety and Health: *Health effects of occupational exposure to asphalt*. Cincinnati, OH: US Department of Health and Human Services. NIOSH. Publicación No. 2001-110 (2000).
- (7) Partanen, T.; Boffetta, P. *Cancer risk in asphalt workers and roofers: Review and meta-analysis of epidemiologic studies*. Am. J. Ind. Med. 26:721 (1994).
- (8) Partanen, T. J.; et al. *Cancer risk for European Asphalt Workers*. Scand. J. Work. Environ Health. 21: 252 (1995).
- (9) American Conference of Governmental Industrial Hygienists: 2000 TLVs and BEIs. ACGIH, Cincinnati, OH (2000).
- (10) National Institute of Occupational Safety and Health: Method 5042. En: Manual of Analytical Methods. NIOSH, Cincinnati, OH. (1998).
- (11) Norma INTE 31-08-04-01. *Concentraciones ambientales máximas permisibles en los centros de trabajo*. INTECO, 2001.
- (12) Consejo Nacional de Vialidad. Dirección de Conservación Vial. (Información suministrada el 16 de marzo, 2007)
- (13) Consejo Nacional de Vialidad. Dirección Administrativa Financiera. (Información suministrada por la Sra. Sandra Camacho el 16 de marzo, 2007).
- (14) Instituto Nacional de Seguros. Seguro de Riesgos del Trabajo, estadísticas 2005. Cuadro No. 5. *Clasificación de los trabajadores asegurados, pólizas y promedio de trabajadores por póliza según actividad económica específica. Actividad de construcción de carreteras y acueductos*. Disponible en: <http://portal.ins-cr.com/NR/rdonlyres/514CC270-EED9-45AF-A619-2E7A37DF5282/700/EstadísticaRT2005.xls>. Consultado el 13 de marzo, 2007.
- (15) Hicks, J: *Asphalt Industry Cross Sectional Exposure Study*. Appl. Occup. Environ. Hyg. 10 (10): 840-848 (1995)
- (16) Posniak, M. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Occupational Environment during exposure to Bitumen Fumes*. Polish Journal of Environmental Studies. 14(6): 809-815 (2005)
- (17) Burstyn, I.; Randem, B.; Lien, J.; Langard, S.; Kromhout, H. *Bitumen, Polycyclic Hydrocarbons and Vehicle Exhaust: Exposure Levels and Control among Norwegian Asphalt Workers*. Am. Occup. Hyg. 46(1): 79-87 (2002).
- (18) Burstyn, I.; Kromhout, H.; Kauppine, T.; Heikkilä, P.; Boffetta, P. *Statistical Modelling of the Determinants of Historical Exposure to Bitumen and Polycyclic*

## Determinación de la exposición a humos de asfalto en trabajadores de carreteras.

- Aromatic Hydrocarbons Among Paving Workers*. Ann. occup. Hyg. 44 (1): 43-56 (2000)
- (19) Burstyn, P. Boffetta, G.A. Burr, A. Cenni, U. Knecht, G. Sciarra and H. Kromhout. *Validity of empirical models of exposure in asphalt paving*. *Occupational and Environmental Medicine*. 59(9): 620 (2002)
- (20) McClean, M.; Rinehart, R.; Ngo, L.; Eisen, E.; Kelsey, K.; Herrick, R. *Inhalation and Dermal Exposure among Asphalt Paving Workers*. *Annals of Occupational Hygiene*. 48(8): 663-671 (2004)
- (21) Tepper, A.; Burr, G.; Feng, H.; Singal, M.; Miller, A.; Hanley, K.; Olsen, L. *Acute symptoms associated with asphalt fume exposure among road pavers*. *Am J Ind Med*. 49(9):728-39 (2006)
- (22) Hansen E. *Mortality of mastic asphalt workers*. *Scand. J. Work. Environ. Health*. 17:20–24 (1991)
- (23) Norseth, T.; Waage, J.; Dale, I. *Acute effects and exposure to organic compounds in road maintenance workers exposed to asphalt*. *Am J Ind Med*. 20:737–744 (1991)
- (24) Gamble J.; Nicolich M.; Barone N.; et al. *Exposure-response of asphalt fumes with changes in pulmonary function and symptoms*. *Scand J Work Environ Health*. 25:186–206 (1999)
- (25) Brenes, R.; Granados, F. *Valoración De Exposición A Riesgos Higiénicos Y Ergonómicos En Labores De Construcción Y Mantenimiento De Carreteras*, Proyecto final de Graduación, ITCR, 2007.
- (26) Hronung, R.; Reed, L. *Estimation of average concentration in the presence of nondetectable values*. *Appl. Occup. Env. Hyg*. 5:546-51 (1990)
- (27) Gilbert, R. *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1987.
- (28) Leidel, N.; Busch, K.; Lynch. *Occupational Exposure Sampling Strategy Manual.*, J. NIOSH, Cincinnati, OH, 1977.
- (29) Rappaport, S.; Selvin, S. *A method for evaluating the mean exposure from a log normal distribution*, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J*. 48:374 (1987).

## Documento 2

---

## Determinación de la exposición a humos de asfalto en trabajadores de carreteras.

### I. Cumplimiento de objetivos:

<i>Objetivos propuestos</i>	<i>Objetivos alcanzados</i>
<p style="text-align: center;"><b>General</b></p> <p>Contribuir al mejoramiento de las condiciones de salud de los trabajadores de carreteras que usan asfalto, mediante la determinación de los niveles de exposición a material particulado total (MPT) y fracción de asfalto soluble en benceno (FSB) en una muestra de las empresas constructoras y el ofrecimiento de recomendaciones en aquellos casos en que exista incumplimiento con la norma establecida.</p>	Igual, se alcanzó satisfactoriamente
<p style="text-align: center;"><b>Específicos</b></p> <p>Identificar los niveles de exposición ocupacional a material particulado total y compuestos solubles en benceno presentes en el asfalto que usan los trabajadores de las empresas constructoras de carreteras escogidas en este proyecto.</p>	Igual, se alcanzó satisfactoriamente
Establecer una comparación de los niveles de exposición ocupacional a MPT y FSB entre puestos de trabajo, en cada empresa constructora de carreteras seleccionada para el estudio.	Igual, se alcanzó satisfactoriamente
Establecer una comparación de los niveles de exposición ocupacional a MPT y FSB entre las empresas constructoras	Igual, se alcanzó satisfactoriamente

### II. Limitaciones y problemas encontrados:

- Disponibilidad de transporte: Fue complicado coordinar las giras para los muestreos pues la confirmación del lugar y la hora de inicio se recibía con sólo unas horas de anticipación, por lo que se hacía imposible obtener todos los permisos para disponer de un transporte. En muchos casos hubo que cancelar pues la cita que se había logrado con anticipación ya no estaba disponible o la cuadrilla del proyecto había sido trasladada de lugar y la nueva ubicación no estaba contemplada en el destino original de la gira en la boleta de transporte. Esto generó que en algunos periodos fuese difícil coordinar citas con las empresas o en algunos casos, a pesar de coordinada la visita, los resultados que se pretendía de las mismas no se conseguían. Esto generó atrasos respecto a los cronogramas planteados originalmente en el proyecto, ya que implicó aumentar el número de visitas.

### III. Observaciones generales y recomendaciones:

- Se cumplieron los objetivos del proyecto y se brindó a las empresas participantes información importante sobre la problemática del sector. Durante la presentación de los resultados, se generó expectativa para continuar con otros proyectos que pudieran seguir dando apoyo a los empresarios y trabajadores del sector en cuanto a valoración de riesgos asociados a la seguridad y la higiene ocupacional.