
**Exposición personal a asbestos
en dos talleres de frenos
para vehículos de flota pesada
en la ciudad de Bogotá**

**Juan Pablo Ramos-Bonilla
y col.**

Ayudas a la investigación 2011

Investigador Principal

Juan Pablo Ramos-Bonilla

Profesor Asistente del Departamento de Ingeniería
Civil y Ambiental de la Universidad de Los Andes
(Bogotá, Colombia)

Equipo Investigador

María Fernanda Cely-García

Estudiante Doctoral de la Facultad de Ingeniería
de la Universidad de Los Andes.
Ecóloga de la Pontificia Universidad Javeriana
(Bogotá, Colombia)

Índice

	Página
1. RESUMEN (OBJETO Y ALCANCE)	4
2. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	4
3. OBJETIVOS	6
3.1. Objetivo general	6
3.2. Objetivos específicos	6
4. MATERIALES Y METODOLOGÍA	6
5. RESULTADOS	7
5.1. Descripción de los talleres muestreados	7
5.2. Resultados de las muestras de aire	8
6. DISCUSIÓN	15
7. CONCLUSIONES	17
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

1. RESUMEN (OBJETO Y ALCANCE)

Introducción: Los asbestos son minerales que tienen un gran número de aplicaciones industriales por lo cual han sido utilizados en múltiples productos, muchos de los cuales se siguen comercializando a nivel mundial, especialmente en países en desarrollo. La exposición a asbestos está asociada a varias enfermedades del sistema respiratorio, incluyendo asbestosis, cáncer de pulmón y mesotelioma. En Colombia la mayoría de los productos de fricción para vehículos de flota pesada contienen asbestos y se comercializan separados de los soportes. Por este motivo, estos productos requieren de una amplia manipulación para su instalación en los vehículos. La manipulación incluye procesos como taladrar, avellanar, remachar y pulir los productos de fricción, lo cual libera las fibras de asbestos y expone a los trabajadores.

Métodos: Dos talleres de mecánica de frenos de vehículos de flota pesada de la ciudad de Bogotá fueron muestreados durante tres a ocho días, siguiendo los métodos NIOSH 7400 y 7402. Se tomaron muestras personales y de área, así como muestras de control de calidad que incluyen muestras blanco y de fondo. Se siguió una estrategia de ventanas de muestreo de corta duración para evitar la colmatación de los filtros. Las concentraciones resultantes de los muestreos fueron comparadas con el estándar del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, y el estándar de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos.

Las muestras fueron analizadas por un laboratorio acreditado por la Asociación Americana de Higiene Industrial (AIHA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos. Todas las actividades realizadas por los trabajadores fueron documentadas en diarios de actividades.

Resultados: Se tomaron muestras en tres remachadores y tres personas que realizan labores administrativas en los dos talleres muestreados. Se analizaron 133 muestras por Microscopía de Contraste (PCM, por sus siglas en inglés), y de éstas 98 por Microscopía de Transmisión de Electrones (TEM, por sus siglas en inglés). Se calculó la concentración PCM-Equivalente (PCME) para la jornada laboral de los trabajadores muestreados, para de esta forma, establecer el cumplimiento normativo con los dos estándares de interés. En las muestras que tenían presencia de asbestos, el tipo de asbesto encontrado fue Crisotilo.

Se encontró que uno de los trabajadores muestreados (Remachador 2), está expuesto a concentraciones PCME muy cercanas a los estándares de Colombia y de la OSHA, aunque en general se observó que los trabajadores muestreados están expuestos a concentraciones de asbesto por debajo de estos estándares.

Conclusiones: En los remachadores de talleres de vehículos de flota pesada de la ciudad de Bogotá que

participaron en este estudio, se encontró que están expuestos a concentraciones de asbesto crisotilo muy cercanas al estándar de la OSHA y del estándar colombiano. Debido a la exposición a asbestos, el grupo de personas muestreadas está en riesgo de desarrollar enfermedades relacionadas con los asbestos.

2. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Los asbestos son un grupo de 6 minerales asbestiformes de silicato hidratado que se clasifican en dos (2) familias principales, las Serpentininas (asbesto crisotilo) y los Anfíbolos (amosita, antofilita, actinolita, crocidolita, tremolita) [1]. Los asbestos tienen características físicas y químicas que los hacen muy útiles en diversos productos, confiriéndoles gran importancia comercial [1, 2]. El asbesto crisotilo es actualmente el asbesto más usado a nivel comercial. Uno de los usos más importantes de los asbestos es en los productos de fricción [3-5], aunque en muchos países, especialmente desarrollados, los productos de fricción y otros productos que contienen asbestos han ido desapareciendo como resultado de las regulaciones establecidas debido a la peligrosidad que este material representa para la salud humana [1, 2, 6, 7]. En la actualidad todas las formas de asbestos se encuentran reguladas y/o prohibidas en 55 países del mundo [8].

A principios del siglo XX el uso comercial de los asbestos se incrementó de manera importante, aumentando también el número de trabajadores expuestos [3, 5]. Para los 1920s y 1930s, los problemas de salud relacionados con los asbestos se empezaron a hacer evidentes con las primeras asociaciones entre la exposición a asbestos y enfermedades pulmonares. En los 1950s y 1960s se logró establecer la asociación entre la exposición a asbestos y el cáncer de pulmón y mesotelioma [3], así como con otras enfermedades como asbestosis, placas, engrosamientos y derrames pleurales y cáncer de laringe, entre otras [9]. A pesar de que existe un debate no resuelto sobre las posibles diferencias en el potencial carcinogénico de los anfíbolos y el crisotilo [10-12], en la actualidad todos los tipos de asbestos están catalogados como cancerígenos para los seres humanos [13] y los Límites de Exposición Personal de Colombia y de los Estados Unidos no hacen diferencia entre los distintos tipos de asbesto [14].

En Colombia todavía se producen y comercializan productos de fricción que contienen asbestos (pastillas, bandas y bloques de frenos). En muchos casos los productos de fricción que contienen asbestos deben ser manipulados para adherirlos a los soportes, proceso que es necesario para poder instalarlos en el vehículo. Esta manipulación se origina en el hecho que las empresas que manufacturan estos productos los comercializan separados de los soportes [15]. Existen dos tipos de trabajado-

res que directamente intervienen en el mantenimiento y reparación de los sistemas de freno de los vehículos: los mecánicos de frenos y los remachadores [15]. Los mecánicos de freno realizan actividades de reparación y mantenimiento del sistema de frenos del vehículo, incluyendo el desmonte e instalación de las ruedas, la calibración de los frenos, y la limpieza y reparación del sistema de frenos. Los remachadores son los trabajadores que realizan las actividades de manipulación de las bandas, bloques y pastillas de freno con el fin de alistarlas para que puedan ser instaladas en el vehículo, actividades que incluyen taladrar, avellanar, remachar y pulir dichos productos de fricción [15].

Para vehículos de pasajeros estas actividades dejaron de ser necesarias desde los 1960s en países desarrollados como Estados Unidos, debido a que las bandas se empezaron a producir en tamaños adecuados y adheridas a los soportes, por lo que no se requería realizar ningún tipo de manipulación para su instalación [3, 16].

A pesar de los riesgos asociados a la exposición a asbestos, las regulaciones Colombianas al respecto son recientes. Lo anterior ha permitido que Colombia sea un país muy importante en la comercialización (importación y exportación) del asbesto crisotilo y de productos que lo contienen, a nivel mundial [17-20]. En el año 1998 Colombia ratificó por medio de la Ley 436 [21], el Convenio 162 de 1986 "Sobre la utilización del asbesto en condiciones de seguridad" el cuál se aplica a todas las actividades en las que los trabajadores se exponen a los asbestos [22, 23]. En el año 2008 creó la Comisión Nacional de Salud Ocupacional del Asbesto Crisotilo y otras Fibras a partir de la Resolución 1458 [24]. Finalmente, en noviembre del año 2011 emitió la Resolución 007 sobre el asbesto en ambientes ocupacionales [25].

En Colombia las regulaciones a nivel ocupacional las establecen el Ministerio de Salud y el Ministerio de Trabajo (antes Ministerio de Protección Social). La Resolución 007 de 2011 presenta un límite de exposición personal de acuerdo con la jornada laboral. Un trabajador puede estar expuesto a una concentración de asbestos de $0,1 \text{ f/cm}^3$ en 8 horas, o de $0,083 \text{ f/cm}^3$ para jornadas de 9 horas al día, como es el caso de los trabajadores muestreados [25]. En los Estados Unidos las regulaciones a nivel ocupacional las establece la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA por sus siglas en inglés), y para el caso de los asbestos existe un estándar para 8 horas de $0,1 \text{ f/cm}^3$ (PEL – Permissible Exposure Limit) y uno de 30 minutos de 1 f/cm^3 (STEL – Short Term Exposure Limit) [14]. Para determinar cumplimiento de los estándares de la OSHA y el estándar Colombiano, las concentraciones de asbesto se deben reportar en PCM-Equivalente (PCME). Las técnicas ana-

líticas necesarias para determinar las concentraciones de asbestos incluyen Microscopía de Fase de Contraste (PCM por sus siglas en inglés) [26] y Microscopía de Transmisión de Electrones (TEM por sus siglas en inglés) [27]. La técnica PCM permite hacer un conteo de fibras totales en la muestra pero no diferencia fibras de asbestos de otras fibras. La técnica TEM permite diferenciar las fibras de asbestos de otras fibras, y para el caso de las de asbestos permite diferenciar la familia a la cual pertenecen (serpentinicas – anfíbolos). La combinación de las dos técnicas (Concentración de fibras encontrada por PCM y la fracción de fibras de asbesto encontradas por TEM – fibras de asbesto/fibras totales-) se conoce como concentración PCME y es como se mencionó anteriormente, la concentración que se debe comparar con los estándares de interés [14, 25].

Existen múltiples estudios realizados principalmente en países desarrollados que han analizado la exposición a asbestos por parte de los mecánicos de frenos. Para el caso de mecánicos de frenos de vehículos de flota liviana, la mayoría de éstos estudios han encontrado que la exposición a asbestos cumple con el estándar OSHA PEL de $0,1 \text{ f/cm}^3$ [3, 16, 28-30]. Para el caso de los mecánicos de frenos de vehículos de flota pesada, algunos estudios reportan concentraciones por encima de los límites permitidos [3, 16, 31], aunque un estudio más reciente encontró que estos trabajadores se exponen a concentraciones de hasta dos órdenes de magnitud por debajo del OSHA PEL [32]. Vale la pena resaltar que estos estudios no reportan ningún tipo de actividades de manipulación de los productos de freno que realizan los remachadores identificados en Colombia [15].

De acuerdo con estudios realizados previamente por nuestro grupo de investigación en talleres de mecánica de frenos de vehículos de flota liviana de la ciudad de Bogotá, los remachadores, que como se mencionó anteriormente son los trabajadores encargados de realizar los procesos de manipulación de los productos de fricción para su correcta instalación en los sistemas de freno de los vehículos, se exponen a concentraciones importantes de asbesto [15]. Por lo tanto, teniendo en cuenta que de acuerdo con lo observado en los talleres muestreados la mayoría de las bandas y bloques de freno usados para los vehículos de flota pesada contienen asbestos y generalmente requieren la misma manipulación descrita anteriormente para su correcta instalación, este estudio busca establecer cuál es la exposición a asbestos de mecánicos de frenos que laboran en talleres de vehículos de flota pesada de la ciudad de Bogotá y determinar la concentración de fibras en diferentes áreas de los talleres muestreados.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Analizar la exposición a asbestos por parte de mecánicos que trabajan en dos talleres de mecánica automotriz en el mantenimiento y cambio de frenos de vehículos de flota pesada en la ciudad de Bogotá.

3.2. Objetivos específicos

Establecer la exposición personal a asbestos de mecánicos de frenos que laboran en dos talleres de vehículos de flota pesada de la ciudad de Bogotá, y determinar el cumplimiento normativo.

Establecer la concentración de fibras en diferentes áreas de dos talleres de frenos de vehículos de flota pesada de la ciudad de Bogotá, y determinar si esta concentración reviste riesgos no solo para los trabajadores que manipulan los productos que contienen asbestos, sino también para otras personas que se encuentran y/o trabajan en el taller.

4. MATERIALES Y METODOLOGÍA

Se seleccionaron dos talleres de frenos para vehículos de flota pesada de la ciudad de Bogotá, los cuales estuvieron dispuestos a participar en el proyecto de manera voluntaria. Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Los Andes y los trabajadores participantes firmaron un consentimiento informado en el cual se garantizaba la confidencialidad tanto de los trabajadores como de los talleres muestreados.

Las campañas de muestreo se realizaron durante tres días consecutivos en el primer taller (Taller 1) (del 24 al 26 de julio de 2012) y durante 8 días en el segundo taller (Taller 2) (del 14 al 25 de agosto de 2012), durante la jornada laboral de cada uno (8am – 6pm). Para el caso del segundo taller fue necesario ampliar la campaña de muestreo durante varios días laborales puesto que hubo pocos procesos de manipulación de productos de fricción. De todos los días muestreados, el 15, 16, 23, 24 y 25 de agosto tuvieron al menos un proceso de manipulación, por lo que éstos fueron los que se tuvieron en cuenta para el análisis de las muestras.

Se siguieron los métodos NIOSH 7400 y 7402 [26, 27] para establecer la exposición personal a asbestos y la concentración de fibras en dos microambientes de los talleres muestreados. Se tomaron muestras personales para establecer el cumplimiento normativo, comparando los resultados de los muestreos con el estándar colombiano y los estándares de la OSHA. Estas muestras se tomaron ubicando los equipos de muestreo directamente en el cuerpo del trabajador (la bomba se ubicó en el cinturón y el filtro de muestreo se ubicó en la zona respirato-

ria del trabajador), y se les pidió que realizaran sus actividades laborales de manera cotidiana.

Se tomaron dos tipos de muestras de área, una en la oficina del taller y la otra cerca de la zona de manipulación (a ~2 m de los equipos de manipulación). Estas muestras se tomaron a una altura respiratoria de 1,5m. De acuerdo con las condiciones de ventilación del área muestreada y tratando de disminuir la posibilidad de colmatación de los filtros, las muestras se tomaron durante la jornada laboral (en microambientes ventilados), o durante los procesos de manipulación únicamente (en microambientes con poca ventilación).

Una estrategia de ventanas de muestreo también se aplicó para evitar la colmatación de filtros en las muestras personales, dividiendo la jornada de trabajo en ventanas de muestreo cortas de acuerdo a las actividades realizadas por los trabajadores. El tiempo promedio ponderado (TWA – Time Weighted Average, por sus siglas en inglés) de cada trabajador muestreado fue calculado teniendo en cuenta las concentraciones reportadas por el laboratorio y los tiempos de muestreo de cada ventana. Para muestras con concentraciones PCM por debajo del Límite de Cuantificación (LOQ, por sus siglas en inglés), un medio del LOQ fue usado para realizar los cálculos.

Para el caso de la legislación colombiana, el estándar depende del número de horas laboradas al día. Los trabajadores participantes en este estudio tenían una jornada laboral de 9 horas al día aproximadamente. Para calcular el estándar es necesario aplicar la siguiente ecuación [25]:

$$VLPc = Fc * VLP$$

Donde:

- VLPc es el Valor Límite Permisible corregido
- Fc es el Factor de Corrección
- VLP es el Valor Límite Permisible establecido por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales (ACGIH, por sus siglas en inglés).

El Fc se calcula teniendo en cuenta la siguiente ecuación [25]:

$$CF = \left(\frac{8}{hd} \right) * \left[\frac{(24 - hd)}{16} \right]$$

Donde hd es el número de horas de trabajo por día [25].

Para el estándar de la OSHA, en los casos en los que los tiempos de muestreo estuvieran por encima de los 480 minutos correspondientes a las 8 horas de una jornada laboral, las concentraciones TWA fueron corregidas teniendo en cuenta las peores 8-hr de exposición en cada jornada, de acuerdo a las recomendaciones del Manual Técnico de la OSHA [33]. Esta recomendación también fue aplicada en caso que los tiempos de muestreos fueran mayores a 9-hr, para comparar con el estándar colombiano.

Para los tiempos de muestreo que estuvieron por debajo de los 480 o 540 minutos, de acuerdo con el estándar de interés, se asumió una concentración de 0 f/cm^3 para el tiempo que faltaba para completar la jornada, debido a que en este tiempo faltante los trabajadores realizaban actividades diferentes al mantenimiento y reparación de frenos, o porque la jornada laboral terminaba más temprano. Este fue el caso del Remachador 3, que solicitaba que se le quitara la bomba durante las actividades de cambio de aceite y reparación de motor, las cuales no involucraban actividades de mantenimiento, reparación o manipulación de los sistemas de frenos.

Se tomaron muestras blanco por día y por taller para control de calidad del muestro, y una muestra de fondo por taller durante una de las noches de los días de muestreo, cuando no se estaban realizando actividades, para determinar si existía otra fuente de contaminación de asbestos en el taller.

Todas las muestras se tomaron con bombas de muestreo personal SKC AirCheck XR5000 (SKC – Inc, Eighty Four, PA, USA), conectadas a filtros de Membrana Celulosa Ester de 25mm de diámetro y tamaño de poro de $0,45\mu\text{m}$, montados en cassettes conductivos de 25mm de diámetro y 50mm de largo. Todas las muestras tuvieron pre y post calibración de flujo con un Calibrador Defender 520 High (BIOS-International Corporation, Butler, NJ, USA).

Las muestras fueron analizadas por el laboratorio RJ Lee Group (Monroeville, PA, USA) el cual se encuentra acreditado por la Asociación Americana de Higiene Industrial (AIHA, por sus siglas en inglés) para el análisis de asbestos. Todas las muestras se analizaron por PCM para establecer la concentración de fibras encontradas. Todas las muestras personales, las muestras blanco y las muestras de fondo fueron analizadas por TEM para establecer la cantidad de fibras de asbestos en cada una y de esta manera, poder calcular su concentración PCME y compararlas con el estándar de la OSHA y el estándar colombiano. Las condiciones analíticas para realizar los análisis por TEM son las mismas reportadas en Cely-García et al. (2012) [15].

Las muestras de área fueron analizadas por PCM únicamente, puesto que no son usadas para determinar cumplimiento normativo. Sin embargo, estas muestras ayudan a entender la migración de las fibras en los diferentes microambientes de los talleres.

Adicionalmente, en los dos microambientes de interés (oficina y área de manipulación), se tomaron muestras de material particulado $\text{PM}_{2,5}$ (material particulado con una mediana de diámetro aerodinámico de $2,5 \mu\text{m}$) a una altura respiratoria de 1,5m, ubicando los muestreadores al lado de los muestreadores de asbestos. En este caso se utilizaron las bombas SKC descritas anteriormente, que corrieron a un flujo de 2 L/min y filtros PTFE de 37mm con tamaño de poro de $2,0\mu\text{m}$ montados en Monitores PEM específicos para $\text{PM}_{2,5}$. En el Taller 1 se tomaron estas muestras durante los tres días de muestreo. En el Taller 2 se tomaron las muestras durante los primeros tres días de muestreo, pero debido a que solo se utilizó la información de asbestos de

los días 15 y 16 de agosto, se reportan las concentraciones de $\text{PM}_{2,5}$ de estos dos días en dicho taller.

Los análisis de los filtros de material particulado fueron realizados por determinación gravimétrica en una balanza Mettler Toledo MX5 (Mettler – Toledo Inc. Columbus, OH, USA) que se encuentra en el Laboratorio de Calidad del Aire de la Universidad de Los Andes, de acuerdo con protocolos estándar.

Por último, la temperatura y humedad relativa fueron monitoreadas en estas dos zonas de interés durante todos los días de muestreo utilizando un Registrador de Datos HOBO U10-003 (ONSET, Bourne, MA, USA).

Todas las actividades realizadas por los trabajadores fueron registradas en diarios de campo que se digitalizaron al finalizar los muestreos. Luego de terminar el proceso de análisis de la información, se entregó un reporte a cada taller muestreado, en donde se presentaron los resultados obtenidos y algunas recomendaciones básicas encaminadas a la protección de los trabajadores.

5. RESULTADOS

5.1. Descripción de los talleres muestreados

Los dos talleres muestreados son talleres de vehículos de flota pesada, específicamente buses, que están afiliados cada uno a una empresa de transporte intermunicipal. En los dos talleres se realizan diferentes actividades de mantenimiento y reparación de los vehículos y de los sistemas de frenos, dentro de las cuales se incluyen las actividades de manipulación de bandas y bloques de freno con y sin asbestos. Dentro de las actividades de manipulación de los productos de fricción, se observó de acuerdo a los diarios de actividades, que los trabajadores realizan las mismas actividades reportadas para flota liviana (taladrar, avellanar, remachar, pulir, despuntar) [15]. De todas formas se encontraron algunas diferencias importantes, incluyendo el hecho que en los talleres de vehículos de flota pesada muestreados los trabajadores no pegan las bandas o bloques a los soportes, y las actividades de pulida y despuntada de los productos de fricción son realizadas de una manera menos frecuente.

A continuación se realiza una descripción general de los talleres muestreados.

Taller 1

Consiste en un garaje muy amplio y ventilado con un área de $\sim 1400\text{m}^2$, de los cuales el $\sim 50\%$ está cubierto con techo (altura de piso a techo $\sim 4\text{m}$). El área de la oficina y bodega es de $\sim 120\text{m}^2$ y se encuentra a $\sim 45\text{m}$ de la zona de manipulación. Ésta última tiene un área de $\sim 4\text{m}^2$ y está localizada en la zona posterior del taller sin ningún tipo de aislamiento. Para la manipulación de las bandas el taller cuenta con un taladro, una avellanadora con pulidora, una

remachadora, y un esmeril que se encuentra ubicado a 7m del resto de los equipos de manipulación.

Los remachadores (dos personas que también realizan actividades de mecánicos de frenos) usan uniforme y botas con punta metálica como equipos de protección personal y ocasionalmente usan un peto y tapabocas o respiradores con filtros que no son apropiados para asbestos. En el taller se realizan actividades de aseo del área de manipulación una vez a la semana (aunque durante los días de muestreo no se realizaron estas actividades) y los residuos de fricción (productos de fricción usados, polvo y partes de bandas y bloques nuevos) generados en el taller son manejados como residuos ordinarios.

Taller 2

Consiste en un garaje muy amplio y ventilado con un área de manipulación de discos de embrague ubicada en el mismo espacio de la oficina del dueño del taller, y un área de manipulación de productos de fricción y bodega, ubicada en otro espacio alejado de la anterior. El microambiente de la oficina y zona de manipulación de discos de embrague tiene un área de $\sim 210\text{m}^2$ y una altura de piso a techo de $\sim 5\text{m}$. Los equipos de muestreo se ubicaron a 10m de los equipos de manipulación de los discos de embrague (taladro, avellanadora, remachadora y esmeril), los cuales estaban ubicados a 4m de la puerta de dicho espacio.

La zona de manipulación de los productos de fricción tiene un área de $\sim 7\text{m}^2$ con una ventana amplia que ventila el lugar, y una altura de piso a techo de $\sim 3\text{m}$. Esta zona cuenta con un taladro, una avellanadora (no usada) con pulidora, una remachadora y un esmeril. Los trabajadores (dueño y remachador) usan una chaqueta como uniforme y botas de trabajo como equipos de protección personal. Los tapabocas que usan ambos trabajadores no son apropiados para asbestos. El remachador utiliza un peto cada vez que realiza las labores de manipulación. Este trabajador realiza las labores de aseo en la zona de manipulación de productos de fricción al final del día, solo cuando lo considera necesario. Todos los residuos de fricción generados en el taller son manejados como residuos ordinarios.

5.2. Resultados de las muestras de aire

Se tomaron 165 muestras de las cuales sólo se analizaron 133 por PCM, correspondientes a las que fueron tomadas durante días con algún tipo de actividad de manipulación. De las 133 muestras analizadas (se tuvieron en cuenta 132 para los análisis debido a que una de las muestras se invalidó), 55 fueron muestras personales, 33 fueron muestras personales cortas (30 minutos) tomadas mientras los trabajadores realizaban actividades de manipulación o de limpieza del área de manipulación, 18 fueron muestras de área tomadas en la zona de manipulación, y 16 fueron muestras de área tomadas en la oficina. Se tomaron 11 blancos en total (se tuvieron en cuenta 8 blancos para los análisis) y 2 muestras de fondo.

En el Taller 1 se tomaron muestras personales a 4 trabajadores: Dos trabajadores que realizaban labores de remachador y mecánicos de frenos (R1 y R2), y dos trabajadores administrativos (A y A1). En el Taller 2 se tomaron muestras personales a 2 trabajadores: el dueño del taller que ocasionalmente realiza actividades de manipulación en discos de embrague (A2) y el remachador de los productos de fricción (R3). En los dos talleres el personal administrativo solicitó participar directamente en el proyecto debido a que le interesaba saber si ellos podrían exponerse a los asbestos mientras permanecían en el taller aunque no fueran los encargados de realizar las actividades de manipulación de los productos de fricción.

En las Tablas 1 y 2 se puede observar las concentraciones encontradas para los trabajadores muestreados en los Talleres 1 y 2, respectivamente. Con esta información es posible establecer el cumplimiento normativo de acuerdo a la legislación colombiana y al estándar internacional de la OSHA. Para esto, todas las muestras personales, blanco y fondo fueron analizadas por TEM para establecer la fracción de fibras de asbesto con respecto al número total de fibras presente en estas muestras, y de esta manera calcular las concentraciones PCME. En las muestras blanco y de fondo no se encontraron fibras de asbesto. En las muestras personales analizadas por TEM que tenían fibras de asbesto, el único tipo de asbesto encontrado fue crisotilo.

En las dos primeras columnas de las Tablas 1 y 2, se puede observar el día de muestreo y el código asignado al trabajador muestreado. El establecimiento de códigos es un compromiso que se adquirió con los trabajadores debido a que en el consentimiento informado que los trabajadores firmaron se establece que se debe mantener la confidencialidad tanto del taller como del trabajador. En la tercera columna se puede observar la duración de cada ventana de muestreo (en minutos). En la cuarta columna se muestra la concentración PCM de fibras de cada muestra, reportada por el laboratorio (en caso que la muestra esté por debajo del límite de cuantificación, el valor utilizado para realizar los cálculos es la mitad de dicho límite de cuantificación). La quinta columna muestra el límite de cuantificación reportado por el laboratorio. En la sexta columna se observa el total de fibras de asbesto crisotilo encontradas por TEM y reportada por el laboratorio. En la séptima y octava columna se encuentra el intervalo de confianza del 95% de Poisson, estimado de acuerdo con el método ISO 13794 de 1999 [34]. En la novena columna se encuentra la fracción de fibras de asbesto encontrada por TEM sobre la cantidad de fibras totales encontradas por la misma técnica y reportada por el laboratorio. En la decima columna se observa la concentración TEM y en la decimo primera columna la sensibilidad, ambas reportadas por el laboratorio. En la decimo segunda columna se observa la concentración PCME para cada muestra tomada. En la decimo tercera columna se encuentra el total de minutos de exposición de cada trabajador que es el resultado de sumar todas

sus ventanas de muestreo en una jornada laboral. La decimo cuarta columna muestra la concentración PCME para un TWA de 9-hr, la cual es usada para comparar con el estándar colombiano. Es importante aclarar que debido a que la jornada laboral de los talleres muestreados era de lunes a sábado (aproximadamente 9 horas al día), el estándar colombiano para este caso es de 0,083 f/cm³. Finalmente la décimo quinta columna muestra la concentración PCME para un TWA de 8-hr, la cual es usada para comparar contra el estándar internacional de la OSHA.

En cuanto a las muestras de área en la zona de manipulación y oficina, éstas se tomaron de manera simultánea con las de material particulado PM_{2,5}. En la zona de manipulación, los equipos de muestreo se ubicaron a una distancia de ~2m de los equipos de manipulación. La información de la concentración de fibras y de material particulado PM_{2,5} para los dos talleres se presenta en la Tabla 3. En las tres primeras columnas se identifica el taller muestreado, el día de muestreo y la zona de muestreo, respectivamente. A partir de la cuarta columna se muestran los datos del análisis de asbestos. En esta columna

se puede observar el tiempo de cada ventana de muestreo usada para determinar la concentración de asbestos. En la quinta columna se expone la concentración PCM reportada por el laboratorio para cada ventana de tiempo, y en la sexta columna el límite de cuantificación de cada una, igualmente reportado por el laboratorio. A partir de la séptima columna se reporta la información para el análisis de material particulado. En ésta columna se puede observar el tiempo de muestreo para la jornada laboral. Y por último, la octava columna muestra la concentración de PM_{2,5} encontrada para cada microambiente muestreado.

Durante los días de muestreo, en el área de manipulación del Taller 1 la temperatura se mantuvo entre 16 y 26°C, y la humedad relativa estuvo entre 30 y 75%. En la zona de oficina del Taller 1 la temperatura estuvo entre 17 y 32°C y la humedad relativa entre 22 y 74%. Durante los días en los que hubo procesos de manipulación en el Taller 2, la temperatura en el área de manipulación se mantuvo entre los 17 y 26°C y la humedad relativa entre 33 y 64%. La temperatura en la zona de oficina estuvo entre los 15 y 24°C, mientras que la humedad relativa estuvo entre 40 y 70%.

Tabla 1. Concentración PCM, TEM y PCME para los trabajadores del Taller 1 durante los días de muestreo.

Día de toma de muestra	Código de muestra	Minutos muestreados (min)	Concentración PCM (f/cm³)	Límite de cuantificación (f/cm³)	Número de fibras de Crisotilo (f)	Límite inferior IC Poisson 95%	Límite superior IC Poisson 95%	Fracción de fibras de asbesto/ fibras totales (f/F)	Concentración TEM (f/cm³)	Sensitividad (f/cm³)	PCME (f/cm³)	Total minutos (min)	Concentración PCME para TWA de 9-hr ¹ (f/cm³)	Concentración PCME para TWA de 8-hr ² (f/cm³)
Día 1	R1-1	119	0,015	0,010	0	0,000	2,990	0,000	< 0,002	0,002	0,000	484	0,009	0,010
	R1-2	84	0,019	0,015	0	0,000	2,990	0,000	< 0,003	0,003	0,000			
	R1-3	99	<0,013	0,013	0	0,000	2,990	0,000	< 0,003	0,003	0,000			
	R1-4	148	0,013	0,009	0	0,000	2,990	0,000	< 0,002	0,002	0,000			
	R1-5 ⁴	34	0,145	0,038	25	16,178	36,905	0,962	0,382	0,008	0,140			
	R2-1 ⁴	40	0,142	0,033	21	13,000	32,101	0,875	0,275	0,007	0,124			
	R2-2 ⁴	28	0,151	0,046	5,5	1,913	12,365	1,000	0,102	0,009	0,151			
	R2-3 ⁴	30	0,189	0,043	6	2,202	13,060	0,571	0,104	0,009	0,108			
	R2-4	52	<0,024	0,024	0	0,000	2,990	0,000	< 0,005	0,005	0,000	514	0,050	0,056
	R2-5	50	0,064	0,025	9,5	4,455	17,738	1,000	0,096	0,005	0,064			
	R2-6 ⁴	31	0,219	0,042	21	13,000	32,101	0,933	0,352	0,008	0,205			
	R2-7	185	0,036	0,007	10	4,795	18,391	0,769	0,028	0,001	0,028			
	R2-8	98	0,015	0,013	0	0,000	2,990	0,000	< 0,003	0,003	0,000			
	A-1	230	<0,006	0,006	0	0,000	2,990	0,000	< 0,001	0,001	0,000			
	A-2	94	<0,014	0,014	0	0,000	2,990	0,000	< 0,003	0,003	0,000			
	A1-1	238	0,007	0,006	0	0,000	2,990	0,000	< 0,001	0,001	0,000			
A1-2	276	0,005	0,004	0	0,000	2,990	0,000	< 0,001	0,001	0,000	324	0,000 ³	0,000 ³	
R1-6	53	<0,024	0,024	0	0,000	2,990	0,000	< 0,005	0,005	0,000				
Día 2	R1-7 ⁴	30	0,093	0,041	0	0,000	2,990	0,000	< 0,008	0,008	0,000	523	0,044 ³	0,050
	R1-8	67	0,023	0,019	0	0,000	2,990	0,000	< 0,004	0,004	0,000			
	R1-9 ⁴	30	0,143	0,042	2,5	0,431	7,996	0,333	0,043	0,009	0,048			
	R1-10	56	<0,024	0,024	0,5	0,013	4,281	0,167	0,005	0,005	0,002			
	R1-11 ⁴	35	0,548	0,038	70	54,567	88,441	0,940	1,083	0,008	0,515			
	R1-12	24	<0,056	0,056	0	0,000	2,990	0,000	< 0,011	0,011	0,000			
	R1-13	87	<0,015	0,015	0	0,000	2,990	0,000	< 0,003	0,003	0,000			
	R1-14 ⁴	30	0,061	0,045	16	9,146	25,983	1,000	0,288	0,009	0,061			
	R1-15	82	<0,016	0,016	0	0,000	2,990	0,000	< 0,003	0,003	0,000			
	R1-16 ⁴	29	0,223	0,046	3	0,619	8,767	0,375	0,056	0,009	0,084			

Día de toma de muestra	Código de muestra	Minutos muestreados (min)	Concentración PCM (f/cm ³)	Límite de cuantificación (f/cm ³)	Número de fibras de Crisotilo (f)	Límite inferior IC Poisson 95%	Límite superior IC Poisson 95%	Fración de fibras de asbesto/ fibras totales (f/F)	Concentración TEM (f/cm ³)	Sensitividad (f/cm ³)	PCME (f/cm ³)	Total minutos (min)	Concentración PCME para TWA de 9-hr ¹ (f/cm ³)	Concentración PCME para TWA de 8-hr ² (f/cm ³)
Día 2 (cont.)	R2-9	85	0,025	0,016	0	0,000	2,990	0,000	< 0,003	0,003	0,000			
	R2-10 ⁴	32	0,372	0,041	20	12,217	30,889	0,952	0,326	0,008	0,354			
	R2-11	195	0,014	0,006	1,5	0,134	6,399	0,250	0,004	0,001	0,004	591	0,026	0,029
	R2-12 ⁴	31	0,054	0,039	3	0,619	8,767	0,667	0,048	0,008	0,036			
	R2-13	204	0,006	0,006	1	0,025	5,572	0,182	0,002	0,001	0,001			
	R2-14	44	<0,029	0,029	1	0,025	5,572	1,000	0,011	0,006	0,014			
	A-3	303	0,004	0,004	0	0,000	2,990	0,000	< 0,001	0,001	0,000	303	0,000 ³	0,000 ³
	R1-17	33	<0,040	0,040	0	0,000	2,990	0,000	< 0,008	0,008	0,000			
	R1-18 ⁴	30	0,159	0,044	2,5	0,431	7,996	0,294	0,044	0,009	0,047			
	R1-19 ⁴	29	<0,045	0,045	0,5	0,013	4,281	0,200	0,009	0,009	0,005			
	R1-20	216	<0,006	0,006	0	0,000	2,990	0,000	< 0,001	0,001	0,000	473	0,027 ³	0,031 ³
	R1-21	67	<0,019	0,019	0	0,000	2,990	0,000	< 0,004	0,004	0,000			
	R1-22 ⁴	34	0,402	0,038	84,5	67,450	104,555	0,966	1,297	0,008	0,389			
	R1-23	64	<0,020	0,020	0	0,000	2,990	0,000	< 0,004	0,004	0,000			
Día 3	R2-15 ⁴	14	1,761	0,094	66,5	51,482	84,529	1,000	2,517	0,019	1,761			
	R2-16 ⁴	15	<0,088	0,088	0	0,000	2,990	0,000	< 0,018	0,018	0,000			
	R2-17	71	<0,019	0,019	0	0,000	2,990	0,000	< 0,004	0,004	0,000			
	R2-18 ⁴	31	0,222	0,043	49	36,251	64,781	0,942	0,843	0,009	0,209			
	R2-19	94	<0,014	0,014	0	0,000	2,990	0,000	< 0,003	0,003	0,000	388	0,079 ³	0,089 ³
	R2-20 ⁴	28	0,334	0,047	0	0,000	2,990	0,000	< 0,009	0,009	0,000			
	R2-21 ⁴	29	0,255	0,044	35	24,378	48,677	0,875	0,618	0,009	0,223			
	R2-22	44	<0,029	0,029	11	5,491	19,683	0,564	0,129	0,006	0,008			
	R2-23 ⁴	32	0,093	0,038	105,5	85,880	127,135	1,000	2,797	0,013	0,093			
	R2-24 ⁴	30	0,086	0,043	10	4,795	18,391	0,667	0,174	0,009	0,057			
	A1-3	307	0,026	0,004	0	0,000	2,990	0,000	< 0,001	0,001	0,000	431	0,001 ³	0,001 ³
	A1-4	124	0,020	0,010	1	0,025	5,572	0,118	0,004	0,002	0,002			

R1: Remachador 1. R2: Remachador 2. A: Administradora. A1: Administrador 1.

¹ Debido a que la jornada laboral de los trabajadores muestreados es de aproximadamente 9 horas al día, se usa el estándar nacional de 0,083 f/cm³.

² Se compara con el estándar de la OSHA de 0,1 f/cm³. En caso que el tiempo de exposición sea superior a los 480 minutos, es necesario tener en cuenta las peores 8 horas de la jornada, de acuerdo con el Manual Técnico de la OSHA [33].

³ Debido a que el tiempo de exposición fue inferior a 480 y/o 540 minutos, la concentración PCME se calculó asignando una concentración de 0 f/cm³ durante el tiempo restante para completar la jornada laboral de 8 ó 9 horas, de acuerdo con el estándar a comparar.

⁴ Muestra corta colectada durante proceso de manipulación.

Día de toma de muestra	Código de muestra	Minutos muestreados (min)	Concentración PCM (f/cm ³)	Límite de cuantificación (f/cm ³)	Número de fibras de Crisotilo (f)	Límite inferior IC Poisson 95%	Límite superior IC Poisson 95%	Fracción de fibras de asbestos/ fibras totales (f/F)	Concentración TEM (f/cm ³)	Sensitividad (f/cm ³)	PCME (f/cm ³)	Total minutos (min)	Concentración PCME para TWA de 9-hr ¹ (f/cm ³)	Concentración PCME para TWA de 8-hr ² (f/cm ³)
Día 8	A2-10	130	<0,010	0,010	0	0,000	2,990	0,000	< 0,002	0,002	0,000	130	0,000 ³	0,000 ³
	R3-20	49	<0,026	0,026	0	0,000	2,990	0,000	< 0,005	0,005	0,000			
	R3-21 ⁴	29	<0,045	0,045	0	0,000	2,990	0,000	< 0,009	0,009	0,000			
	R3-22 ⁴	30	0,204	0,044	0	0,000	2,990	0,000	< 0,009	0,009	0,000	161	0,001 ³	0,001 ³
	R3-23	18	<0,074	0,074	0	0,000	2,990	0,000	< 0,015	0,015	0,000			
	R3-24 ⁴	35	0,068	0,037	4	1,090	10,242	0,267	0,060	0,008	0,018			

A2: Administrador 2.

R3: Remachador 3.

¹. Debido a que la jornada laboral de los trabajadores muestreados es de aproximadamente 9 horas al día, se usa el estándar nacional de 0,083 f/cm³.

². Se compara con el estándar de la OSHA de 0.1 f/cm³. En caso que el tiempo de exposición sea superior a los 480 minutos, es necesario tener en cuenta las peores 8 horas de la jornada, de acuerdo con el Manual Técnico de la OSHA [33].

³. Debido a que el tiempo de exposición fue inferior a 480 y/o 540 minutos, la concentración PCME se calculó asignando una concentración de 0 f/cm³ durante el tiempo restante para completar la jornada laboral de 8 ó 9 horas, de acuerdo con el estándar a comparar.

⁴ Muestra corta colectada durante proceso de manipulación o aseo del área de manipulación.

⁵ Muestra colmatada. No fue tenida en cuenta para el cálculo del tiempo total de muestreo.

Tabla 2. Concentración de fibras y de material particulado para cada microambiente analizado en los Talleres 1 y 2.

Identificación muestras			Análisis de asbestos			Análisis de material particulado	
Taller	Día de muestreo	Zona de muestreo	Tiempo de muestreo asbestos (min)	Concentración PCM reportada (f/cc)	Límite de cuantificación (f/cc)	Tiempo de muestreo PM2,5 (min)	Concentración PM2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Taller 1	Día 1	Área manipulación	130	<0,010	0,010	513	64,844
			94	<0,014	0,014		
		Oficina	250	0,010	0,005	549	33,442
			254	<0,005	0,005		
	Día 2	Área manipulación	83	0,028	0,016	591	22,104
			72	0,018	0,018		
			120	<0,011	0,011		
		Oficina	300	0,008	0,004	553	26,461
	248		0,009	0,005			
	Día 3	Área manipulación	120	<0,011	0,011	551	10,648
			187	<0,007	0,007		
		Oficina	322	0,006	0,004	558	40,430
151			<0,008	0,008			
81	<0,016	0,016					
Taller 2	Día 2	Área manipulación	228	<0,006	0,006	475	66,801
			245	<0,005	0,005		
		Oficina	244	<0,005	0,005	483	107,885
			236	<0,005	0,005		
	Día 3	Área manipulación	221	<0,006	0,006	497	42,581
			274	<0,005	0,005		
		Oficina	243	<0,005	0,005	496	35,635
			250	<0,005	0,005		
	Día 6	Área manipulación	233	<0,006	0,006	-	-
			258	<0,005	0,005		
		Oficina	252	<0,005	0,005	-	-
			243	<0,006	0,006		
	Día 7	Área manipulación	213	<0,006	0,006	---	---
			246	<0,005	0,005		
			68	<0,019	0,019		
		Oficina	232	<0,006	0,006	---	---
284	<0,005		0,005				
Día 8	Área manipulación	170	0,013	0,008	---	---	
		93	<0,014	0,014			
	Oficina	286	<0,005	0,005	---	---	

6. DISCUSIÓN

Este estudio documenta las exposiciones a asbesto de personal administrativo y de trabajadores encargados de los procesos de manipulación de productos de fricción en dos talleres de vehículos de flota pesada de la ciudad de Bogotá. Con este estudio se hace una contribución al conocimiento existente en los riesgos derivados del uso de productos que contienen asbesto.

La exposición a asbestos se ha evaluado en diferentes grupos ocupacionales, incluyendo el de los mecánicos de frenos (aunque no específicamente en remachadores). Actualmente existe un extenso debate sobre la peligrosidad de las fibras de crisotilo (que es el asbesto más usado a nivel comercial en la actualidad), en comparación con las fibras de anfíbolos. Algunos autores argumentan que la exposición a asbestos crisotilo no incrementa el riesgo de desarrollar enfermedad en los trabajadores expuestos [10, 11, 31, 35], mientras que otros autores reportan casos de mesotelioma y otros tipos de enfermedades relacionadas con los asbestos en trabajadores expuestos exclusivamente a este mineral (incluyendo mecánicos de frenos) [12, 36, 37]. Sin embargo, la Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) clasifica todos los tipos de asbesto como cancerígenos [13] y la OSHA no distingue entre las dos familias de asbestos (Serpentinas y Anfíbolos) en sus estándares [38]. Con el presente estudio se hace un aporte importante al conocimiento científico relacionado con la exposición a asbesto crisotilo en el grupo ocupacional de los mecánicos de freno, teniendo en cuenta que fue el único tipo de asbesto encontrado en las muestras recolectadas y analizadas por TEM.

Como se puede observar en las Tablas 1 y 2, los tiempos de muestreo pueden variar de acuerdo al tipo de persona muestreada (administrativo o remachador). En el Taller 1 los remachadores tienen tiempos de muestreo totales superiores a los 480 minutos, debido a que la jornada de trabajo puede ser más larga, dependiendo de la cantidad de vehículos que los trabajadores deban reparar en el día. El tercer día del Remachador 2 tiene un tiempo de muestreo de 388 minutos, pero no es el resultado de una jornada laboral más corta, sino de la invalidación de la muestra de una de las ventanas de muestreo del día porque el cassette que porta el filtro se abrió accidentalmente (la concentración PCM reportada por el laboratorio para esta muestra fue $<0,0102 \text{ f/cm}^3$). Para el caso del personal administrativo, el tiempo de muestreo puede ser menor debido a que ellos entran más tarde o salen más temprano del taller.

En el Taller 2 los dos trabajadores tienen tiempos de muestreo que por lo general están por encima de los 480 minutos, pero en algunas ocasiones el remachador tiene un tiempo total de muestreo menor, puesto que solicitaba que se le quitara la bomba de muestreo para realizar actividades de mecánica general como cambio de aceite y reparación de motor (las cuales no incluían actividades de manipulación de productos de fricción o mantenimiento de frenos). En el último día de muestreo en este

taller (Día 8), el tiempo de muestreo es corto para ambos trabajadores porque era sábado y la jornada laboral es hasta el medio día. Ese día el dueño del taller salió temprano y el remachador pidió que se le retirara la bomba durante aproximadamente una hora para realizar las actividades descritas anteriormente.

De acuerdo con lo anterior, las Tablas 1 y 2 muestran las concentraciones PCME para un TWA de 9 y 8 horas que permiten hacer la comparación con el estándar colombiano y el estándar de la OSHA, respectivamente. En el Taller 1 se observa que el Remachador 2 durante el día 3 está expuesto a una concentración de asbestos muy cercana al estándar colombiano (Concentración subrayada de $0,079 \text{ f/cm}^3$ en columna 14 de Tabla 1), y muy cercana al estándar de la OSHA (Concentración subrayada de $0,089 \text{ f/cm}^3$ en columna 15 de Tabla 1). Asimismo se puede observar que todo el personal administrativo tiene exposiciones por debajo de ambos estándares.

Vale la pena resaltar que al analizar todas las muestras de calidad por TEM, los filtros blanco y de fondo no tenían fibras de asbestos. También hay que resaltar que dentro de las concentraciones obtenidas en ventanas de muestreo específicas usadas en el cálculo de este TWA hay muestras con elevados números de fibras. Por ejemplo las muestras R2-15 y R2-16 muestran que en los primeros 15 minutos de la manipulación de los bloques se liberaron importantes cantidades de fibras, pero en la segunda ventana de muestreo no hay exposición a las fibras, básicamente porque las labores de manipulación ya habían finalizado en los primeros 15 minutos. Al calcular el TWA para los 30 minutos de estas dos muestras cortas, la concentración PCME es de $0,822 \text{ f/cm}^3$, la cual está muy cercana al estándar de la OSHA de 1 f/cm^3 .

En general, muchas de las muestras personales no tuvieron fibras de asbesto, lo que hizo que la fracción de fibras de asbesto fuera reportada como cero (0) por el laboratorio. Las únicas muestras que tuvieron cantidades importantes de fibras de asbesto (incluso más de 100 fibras de asbesto crisotilo) fueron las muestras cortas (~30 minutos) las cuales fueron colectadas durante los procesos de manipulación, lo cual es coherente con las concentraciones TEM reportadas para estas muestras y que están por encima de la concentración de 1 f/cm^3 . Vale la pena aclarar que aunque las concentraciones TEM no tienen fines regulatorios, muestran claramente que estos trabajadores están expuestos a altas concentraciones de fibras de asbestos.

Las muestras colectadas en los remachadores durante los momentos en los que no realizaban manipulación mostraron pocas o ninguna fibra de asbesto. En las muestras colectadas en el personal administrativo se encontraron dos con presencia de fibras de asbesto crisotilo (Día 3 de Administrador 1, ver Tabla 1 [A1-4], y Día 2 de Administrador 2, ver Tabla 2 [A2-1]). En este caso es importante señalar que para el Administrador 2, la primera muestra del día tuvo 8,5 fibras ([A2-1] en Tabla 2. Concentración PCME $0,020 \text{ f/cm}^3$). Esto se debe a que durante el muestreo el trabajador remachó un disco de

embrague, y esta fue la única manipulación de este tipo en los días en que se realizó el muestreo. Es importante por lo tanto que en un futuro se adelanten estudios de exposición a asbestos en trabajadores que manipulan discos de embrague.

A pesar de que la mayoría de remachadores muestreados están expuestos a concentraciones de asbestos que cumplen con el estándar de la OSHA, estos trabajadores están expuestos a cantidades importantes de fibras de asbestos crisotilo de acuerdo con los resultados de TEM, lo que puede aumentar su riesgo de desarrollar enfermedades relacionadas con los asbestos. Para el caso del personal administrativo, la mayoría de las concentraciones TWA están muy por debajo del estándar de la OSHA, aunque es importante considerar que esta entidad establece que el estándar disminuye pero no elimina el riesgo de desarrollar enfermedades relacionadas con los asbestos [14].

Estudios realizados en países desarrollados concluyen que los trabajadores de talleres de mecánica de frenos están expuestos a concentraciones por debajo del estándar de la OSHA (específicamente en talleres de frenos de vehículos de flota pesada pueden estar expuestos a concentraciones dos órdenes de magnitud por debajo del estándar), y que por lo tanto no están en riesgo de desarrollar enfermedades relacionadas con los asbestos [3, 10, 16, 28-30, 39, 40]. En general estos estudios se hicieron con mecánicos de frenos que no realizan ningún tipo de manipulación como la realizada por los remachadores muestreados en este estudio (taladrar, avellanar, remachar, pulir, despuntar) las cuales se consideran “oportunidades de exposición debido a la liberación de las fibras [41]”. En el caso específico de las bandas de freno para vehículos de pasajeros, estas prácticas se dejaron de realizar en los Estados Unidos desde la década de los 1960s [16]. En Bogotá estas prácticas son aún comunes, debido a que los productos de fricción se comercializan separados de los soportes y en pocas ocasiones, con orificios previamente avellanados. Por lo tanto, es necesario que los trabajadores manipulen las bandas o bloques para adherirlos a los soportes y de esta manera los puedan instalar en los vehículos.

Por otra parte, durante el muestreo se presentó una muestra colmatada que se tomó en el Taller 2. Esta muestra fue recolectada durante un proceso de manipulación, lo que puede indicar una liberación importante de fibras por las actividades desarrolladas. De todas formas, la estrategia de ventanas de muestreo utilizada en este estudio fue apropiada, ya que se logró reducir la colmatación de los filtros, lo cual se había presentado en estudios previos [15].

De acuerdo a las concentraciones PCM de área (área de manipulación y oficina), se puede observar que

los valores están en su mayoría por debajo del límite de detección. Lo anterior se puede deber a que los microambientes muestreados, especialmente las áreas de manipulación, presentaban buenas condiciones de ventilación.

Para el caso de las muestras de $PM_{2.5}$ que fueron tomadas en los mismos microambientes ubicando los filtros justo al lado de los de asbestos, se puede observar que las concentraciones de este material son altas, comparadas con el estándar ambiental colombiano ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un período de 24 horas) [42]. Esto es importante teniendo en cuenta que el personal administrativo permanece en el área de oficina durante prácticamente toda su jornada laboral, y se observó que muchos de los buses que son atendidos en los talleres muestreados permanecen prendidos durante varios minutos con sus tubos de escape dirigidos a la zona de oficina o a la zona de manipulación. Sin embargo, debido a que la fracción de material particulado muestreada ($PM_{2.5}$) no corresponde a las fracciones ocupacionales (Inhalable, respirable y torácica), no es posible establecer cumplimiento normativo.

Vale la pena resaltar que el personal administrativo comentó que la época de inicio de vacaciones (mayo – junio y noviembre - diciembre), es el momento en el que las actividades de reparación y manipulación de frenos puede ser mayor. Este estudio se realizó durante la temporada final de las vacaciones (julio – agosto). Por lo tanto, los trabajadores muestreados pueden tener épocas en las que la cantidad de actividades de reparación es mayor, lo que incrementa sus jornadas de trabajo y por lo tanto su exposición y riesgo. Adicionalmente se observó que los trabajadores muestreados no usan o usan equipos de protección respiratoria que no son apropiados para los asbestos, y cuando usan el peto durante las actividades de manipulación, éste está lleno de polvo y fibras que se re-suspenden al ponérselo, lo cual puede incrementar su riesgo de exposición y enfermedad.

Finalmente, es importante aclarar que los equipos de protección personal se consideran la última alternativa para la protección de los trabajadores en la jerarquía de controles de higiene industrial. La primera opción de control debe enfocarse en la fuente de contaminación, por lo cual se debería evitar el uso de los asbestos en los productos de fricción y así mismo, evitar la manipulación de productos que contienen asbestos. Incluso, se debe evaluar la comercialización de este tipo de productos en el territorio nacional. Esta opción garantizaría la disminución de la exposición de los trabajadores y por lo tanto se reduciría el riesgo de desarrollar enfermedades relacionadas con los asbestos.

7. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados encontrados, es posible concluir que los remachadores muestreados pueden estar expuestos a concentraciones de asbestos muy cercanas al estándar nacional del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia. Así mismo, pueden estar expuestos a concentraciones de asbestos crisotilo muy cercanas al límite de exposición permisible de la OSHA y tener concentraciones TEM para periodos cortos de muestreo (30 minutos) por encima de 1 f/cm³. Por lo tanto, este estudio presenta evidencia científica que demuestra que los mecánicos y remachadores de los dos talleres muestreados pueden estar expuestos a concentraciones importantes de asbestos y por lo tanto pueden estar en riesgo excesivo de desarrollar enfermedades relacionadas con los asbestos.

El personal administrativo de los dos talleres muestreados está expuesto a concentraciones que cumplen con los dos tipos de estándares, pero no dejan de estar en riesgo excesivo debido a que en algunas muestras personales se encontraron fibras de asbestos crisotilo.

La exposición de este grupo ocupacional se debe principalmente a la liberación de fibras de asbestos generada por la manipulación que los trabajadores deben realizar en los productos de fricción para poder adherirlos a los soportes e instalarlos en los vehículos. La manipulación es necesaria debido a la forma como se comercializan los productos de fricción en el país.

Para el caso específico de los asbestos, es necesario seguir reuniendo toda la evidencia científica que permita tomar decisiones frente a la regulación y/o prohibición de los asbestos y productos que contienen asbestos en el país. Por este motivo, los remachadores de discos de embrague y otros trabajadores como los obreros de demoliciones, son algunos de los grupos ocupacionales de interés hacia los cuales se deberían extender los estudios de exposición. Adicionalmente, debido a que en la mayoría de los casos estos trabajadores llevan varios años realizando las mismas labores y las enfermedades relacionadas con los asbestos tienen largos periodos de latencia, es fundamental hacer un seguimiento de la salud respiratoria de estas personas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen de manera muy especial a los remachadores y dueños de los talleres muestreados por su disposición y colaboración con esta investigación.

Asimismo, agradecen a FUNDACIÓN MAPFRE y a la Universidad de Los Andes, por el apoyo económico y logístico que permitió desarrollar este estudio, y al laboratorio RJ Lee Group por el análisis de las muestras.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Addison, J. and E.E. McConnell, *A review of carcinogenicity studies of asbestos and non-asbestos tremolite and other amphiboles*. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2008. 52: p. 187-199.
- Ross, M., et al., *The mineral nature of asbestos*. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2008. 52(1, Supplement 1): p. S26-S30.
- Paustenbach, D.J., et al., *Environmental and occupational health hazards associated with the presence of asbestos in brake linings and pads (1900 to present): a "state of the art" review*. Journal of Toxicology and Environmental Health, 2004. 7: p. 33-110.
- ATSDR, *What is asbestos?* 2008: Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Atlanta.
- ATSDR, *Toxicology profile for asbestos*. 2001: Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta.
- Lee, R.J., et al., *Naturally occurring asbestos—A recurring public policy challenge*. Journal of Hazardous Materials, 2008. 153(1-2): p. 1-21.
- Wagner, G.R. and R. Lemen, *Asbestos*, in *International Encyclopedia of Public Health*, K. Heggenhougen, Editor. 2008, Academi Press.
- IBAS. *Current asbestos ban and restrictions*. 2011 January 10, 2011]; Available from: http://ibasecretariat.org/alpha_ban_list.php.
- OMS, *Eliminación de las enfermedades relacionadas con asbestos*. 2006.
- Pierce, J.S., et al., *An evaluation of reported no-effect Chrysotile asbestos exposures for lung cancer and mesothelioma*. Critical Reviews in Toxicology, 2008. 38: p. 191-214.
- Bernstein, D.M. and J.A. Hoskins, *The health effects of chrysotile: Current perspective based upon recent data*. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2006. 45(3): p. 252-264.
- Kanarek, M.S., *Mesothelioma from Chrysotile Asbestos: Update*. Annals of Epidemiology, 2011. 21(9): p. 688-697.
- IARC. *Asbestos (Actinolite, Amosite, Anthophyllite, Chrysotile, Crocidolite, Tremolite) Supplement 7 (1987)*. 1998 February 22, 2010]; Available from: <http://www.inchem.org/documents/iarc/suppl7/asbestos.html>
- OSHA, *Occupational Exposure to Asbestos. Section 3: Summary and Explanation of Revised Standards*. 1995: United States Department of Labor. Occupational Safety & Health Administration. Washington, DC.
- Cely-García, M.F., et al., *Personal exposure to asbestos fibers during brake maintenance of passenger vehicles*. The Annals of Occupational Hygiene., 2012. 56(9): p. 985-999.
- Paustenbach, D.J., et al., *An evaluation of the historical exposures of mechanics to asbestos in brake dust*. Applied Occupational and Environmental Hygiene, 2003. 18(10): p. 786-804.
- Joseph LaDou, et al., *The case for a global ban on asbestos*. Environmental Health Perspectives, 2010. 118(7): p. 5.
- Mittelstae, M., *Exports Controversy brews over asbestos deaths in Mexico in Saturday's Globe*. 2010.
- ILA, *Por la prohibición del amianto o asbestos en la subregión Andina. Documento de trabajo No 3*. 2006: Comité Sindical Andino de Salud Laboral y Medio Ambiente. Instituto Laboral Andino. Perú. p. 1-30.
- Tossavainen, A., *El asbestos en el mundo: Producción, Uso e Incidencia de las enfermedades relacionadas con asbestos*. Ciencia & Trabajo, 2008(27): p. 7-13.

21. Congreso. *Ley 436 de 1998 por medio del cual se aprueba el Convenio 162 sobre la Utilización de Asbesto en Condiciones de Seguridad. Congreso de Colombia. Colombia.* 1998 January 10, 2010]; Available from: http://www.secretariassenado.gov.co/se-nado/basedoc/ley/1998/ley_0436_1998.html.
22. OIT, *Convenio 162 de la OIT, sobre la utilización del asbesto en condiciones de seguridad.* 1986: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Organización Internacional del Trabajo. España.
23. OIT. *R 172 Recomendación sobre el asbesto.* 1986 February 22, 2010]; Available from: http://training.italo.it/actrav_cdrom2/es/osh/iloconv/r172.htm.
24. MPS. *Resolución 1458 de 2008 por la cual se modifica la Comisión Nacional de Salud Ocupacional del Sector Asbesto.* 2008 January 10, 2010]; Available from: http://www.icbf.gov.co/transparencia/derechobienestar/resolucion/minproteccion/resolucion_minproteccion_1458_2008.html.
25. MSPS, *Ministerio de Salud y Protección Social. 2011. Resolución 007 de 2011, por la cual se adopta el Reglamento de Higiene y Seguridad del Crisotilo y otras fibras de uso similar.*
26. NIOSH, *7400 Asbestos and other fibers by PCM.* 1994, National Institute for Occupational Safety and Health. Manual of Analytical Methods. Fourth Edition.
27. NIOSH, *7402 Asbestos by TEM.* 1994, National Institute for Occupational Safety and Health. Manual of Analytical Methods. Fourth Edition.
28. Blake, C.L., G.S. Dotson, and R.D. Harbison, *Assessment of airborne asbestos exposure during the servicing and handling of automobile asbestos-containing gaskets.* *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 2006. 45(2): p. 214-222.
29. Blake, C.L., et al., *Airborne asbestos concentration from brake changing does not exceed permissible exposure limit.* *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 2003. 38(1): p. 58-70.
30. Weir, F.W., G. Tolar, and L.B. Meraz, *Characterization of vehicular brake service personnel exposure to airborne asbestos and particulate.* *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 2001. 16(12): p. 1139-1146.
31. Lemen, R.A., *Asbestos in brakes: Exposure and risk of disease.* *American Journal of Medicine*, 2004. 45: p. 229-237.
32. Madl, A.K., et al., *Airborne asbestos concentrations associated with heavy equipment brake removal.* *Annals of Occupational Hygiene*, 2009. 53(8): p. 839-857.
33. OSHA, *Personal sampling for air contaminants.* OSHA Technical Manual (OTM). Section II: Chapter 1., 2008.
34. ISO, *ISO 13794. Ambient air. Determination of asbestos fibers. Indirect-transfer transmission electron microscopy method.* 1999.
35. Hessel, P.A., et al., *Mesothelioma among brake mechanics: an expanded analysis of a case control study.* *Risk Analysis*, 2004. 24(3): p. 547-552.
36. Deng, Q., et al., *Exposure-response relationship between chrysotile exposure and mortality from lung cancer and asbestosis.* *Occupational Environmental Medicine*, 2012. 69(2): p. 81-86.
37. Wang, X., et al., *A 37-year observation of mortality in Chinese chrysotile asbestos workers.* *Thorax*, 2012. 67(2): p. 106-110.
38. OSHA. *Asbestos: Toxic and Hazardous Substances. Standard number 1910.1001.* 2010 April 4, 2011]; Available from: http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9995.
39. Hickish, D.E. and K.L. Knight, *Exposure to asbestos during brake maintenance.* *Annals of Occupational Hygiene*, 1970. 13: p. 17-21.
40. Yeung, P., et al., *An Australian study to evaluate worker exposure to chrysotile in the automotive service industry.* *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 1999. 7: p. 449-458.
41. Goodman, M., et al., *Mesothelioma and lung cancer among motor vehicle mechanics: a meta-analysis.* *Annals of Occupational Hygiene*, 2004. 48(4): p. 309-326.
42. MAVDT, *Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Resolución 610, por la cual se modifica la Resolución 601 de 2006 que establece la norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.*

Conflicto de intereses

Los autores hemos recibido ayuda económica de FUNDACIÓN MAPFRE para la realización de este proyecto. No hemos firmado ningún acuerdo por el que vayamos a recibir beneficios u honorarios por parte de alguna entidad comercial o de FUNDACIÓN MAPFRE.