

## Evaluación de material particulado generado en la planta de asfalto de Grupo Constructor Logo, S.A de C.V.

Miriam Karina Soto Tinoco\*, Luis Armando de la Peña Arellano, Roberto Valencia Vázquez, María Dolores Josefina Rodríguez, Sergio Valle Cervantes y Felipe Samuel Hernández Rodarte

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/I.T.Durango, Durango, Durango, México

\* Autor de correspondencia: miriamsototin@gmail.com

### Contaminación de agua, suelo y aire.

**Resumen:** El material particulado es uno de los contaminantes atmosféricos más estudiados en el mundo, se define como el conjunto de partículas sólidas y/o líquidas presentes en suspensión en la atmósfera, originadas a partir de una gran variedad de fuentes naturales y/o antropogénicas. La medición del material particulado en áreas de trabajo en la industria, es un tema de seguridad ocupacional, ya que es mandatorio evaluar su concentración y el impacto causado al personal expuesto debido al incremento del riesgo de muerte por causas cardiopulmonares. La industria de la construcción es un sector importante que aporta al crecimiento de la economía de los países, como la construcción de puentes, carreteras, entre otras. Además, involucra actividades como la extracción y el procesado de materias primas, como la fabricación de mezclas asfálticas, que es una de las actividades con alto impacto ambiental. En esta investigación se evaluó la emisión del material particulado de fracción respirable en las áreas de fabricación de pavimentos asfálticos, aplicando los criterios establecidos para el monitoreo atmosférico en la metodología NIOSH Método 0600. El método consistió en tomar muestras representativas usando una bomba personal, un ciclón y un casete con filtro de PVC operado con un caudal de 2.5 L/min. Se determinaron las concentraciones en la fabricación de dos tipos de pavimentos asfálticos: mezcla asfáltica en caliente y sello premezclado. Las muestras fueron tomadas en la zona de respiración del trabajador mediante una bomba de caudal regulable. De cada muestreo se obtuvieron las concentraciones promedio ponderadas en tiempo de muestreo de una jornada laboral de 8 horas. La concentración más alta fue 6.02 mg/m<sup>3</sup> tomada al ayudante general durante la fabricación de mezcla asfáltica caliente. Estas concentraciones fueron comparadas con los valores límites de exposición establecidos por la normatividad internacional para ayudar al control de los riesgos a la salud.

**Palabras clave:** material particulado; PM2.5; NIOSH 0600; NOM-010-STPS-2014

## Evaluation of particulate matter generated in the asphalt plant of Grupo Constructor Logo, S.A. de C.V.

**Abstract:** Particulate matter is one of the most studied atmospheric pollutants in the world, defined as the set of solid and/or liquid particles present in suspension in the atmosphere, originating from a wide variety of natural and/or anthropogenic sources. The measurement of particulate matter in industrial work areas is an occupational safety issue, since it is mandatory to evaluate its concentration and the impact caused to exposed personnel due to the increased risk of death from cardiopulmonary causes. The construction industry is an important sector that contributes to the growth of the economy of countries, such as the construction of bridges, roads, among others. In addition, it involves activities such as the extraction and processing of raw materials, such as the manufacture of asphalt mixtures, which is one of the activities with high environmental impact. In this research, the emission of respirable fraction particulate matter was evaluated in the asphalt pavement manufacturing areas, applying the criteria established for atmospheric monitoring in the NIOSH Method 0600 methodology. The method consisted of taking representative samples using a personal pump, a cyclone and a PVC filter cassette operated with a flow rate of 2.5 L/min. Concentrations were determined in the manufacture of two types of asphalt pavements: hot mix asphalt and ready-mixed seal. Samples were taken in the worker's breathing zone using a pump with adjustable flow rate. Time-weighted average concentrations for an 8-hour workday were obtained from each sample. The highest concentration was 6.02 mg/m<sup>3</sup> taken from the general helper during the manufacture of hot asphalt mix. These concentrations were compared with the exposure limit values established by international standards to help control health risks.

**Keywords:** particulate matter; PM2.5; NIOSH 0600; NOM-010-STPS-2014.

### Introducción

En México la industria de la construcción es uno de los sectores principales de la economía mexicana y el más importante en cuanto a valor de mercado en toda América Latina. Al tener una gran cantidad de inversión pública y privada, con su demanda de insumos de otras industrias, la construcción promueve la actividad económica en sectores conexas, y en 2020, el ramo de la construcción contribuyó con alrededor del 6.3% del producto interno bruto.

El proceso de producción de la industria de la construcción como muchas otras, descargan cantidades considerables de emisiones a la atmosfera, las cuales provienen de diversas fuentes relacionadas con la operación de los equipos, principalmente son los gases de combustión generados por el uso de calderas.

La fabricación de mezclas asfálticas en caliente es una actividad secundaria de la industria de la construcción, que se usan para la pavimentación de caminos y carreteras, entre otros. Para su producción es necesario contar con una planta de asfalto que se conforma por varios equipos mecánico-electrónicos, los cuales aglomeran, calientan, secan y mezclan los agregados con el asfalto para producir, justamente las mezclas asfálticas en caliente y que deben de cumplir con ciertos parámetros, y tienen diferentes características, entre ellas, su tamaño y su facilidad de ubicación, con esto nos referimos a que algunas plantas se mantienen fijas en un mismo espacio todo el tiempo, mientras otras pueden ser portátiles, se pueden trasladar de una obra a otra. Una gran desventaja de este tipo de plantas de procesamiento de mezcla asfáltica, es que están dentro de las principales fuentes de contaminación del aire, emitiendo diversos contaminantes entre ellos, formaldehído, hexano, fenol, materia orgánica, policíclicos y tolueno, generados principalmente en el secador, los calentadores auxiliares y el equipo de transporte.

La generación de material particulado (PM) es un grave problema en este tipo de plantas. En el secador se generan grandes emisiones de partículas suspendidas producto de la combustión y el transporte de materias primas. En la fabricación de mezcla asfáltica se generan polvos finos con diámetro de 2.5  $\mu\text{m}$ , llamadas también partículas PM2.5, debido a su minúsculo diámetro, éstas partículas pueden afectar las vías respiratorias de los trabajadores expuestos, lo que implica un riesgo potencial para su salud y diversas enfermedades han sido asociadas con la exposición a estas partículas en el ambiente laboral. El material particulado puede incluso causar problemas a largo plazo, las obras de construcción emiten una enorme cantidad de partículas al medio ambiente, que pone en peligro a los trabajadores de la construcción. La inhalación de polvo de construcción es un peligro para la salud ocupacional (Cheriyán & Choi, 2019).

Las plantas de asfalto tienen un impacto ambiental importante, aunque el conocimiento es limitado con respecto a los efectos adversos que surgen entre los trabajadores expuestos a las actividades de fabricación de pavimentos asfálticos (Nilsson et al., 2018). Los daños en las vías respiratorias, la garganta y los ojos, ocasionados por el humo de asfalto en trabajadores, han sido temas de interés para varios investigadores y resultados de varios estudios lo asocian con irritación ocular y efectos en el aparato respiratorio (Moreira, 2019).

Es importante estimar y evaluar las concentraciones de contaminantes para determinar el potencial de riesgo al que están expuestos los trabajadores ya que esto proporciona una referencia para que las empresas que desempeñan esta actividad mejoren la calidad del ambiente laboral y con ello la seguridad y salud de los trabajadores.

Aynaya & Picha (2020) realizaron un monitoreo de material particulado en un proyecto de pavimentación de vías públicas, a dos trabajadores durante su jornada laboral, con base a la metodología NIOSH 0600, se determinó que la concentración de material particulado para el primer trabajador fue de 3.54  $\text{mg}/\text{m}^3$  y el segundo trabajador de 3.3  $\text{mg}/\text{m}^3$ , los que excedieron los valores límites máximos permisibles por el Ministerio de Salud en el ambiente de trabajo que marca de 3  $\text{mg}/\text{m}^3$  establecidos, y se concluye que la actividad de movimientos de tierra y las actividades realizadas para la pavimentación tiene gran potencial de perjudicar la salud de los trabajadores en un futuro.

Respecto a las partículas PM2.5, en México pocas ciudades han monitoreado este contaminante por largos periodos de tiempo: el registro histórico más largo corresponde a la Zona Metropolitana del Valle de México y al Área Metropolitana de Monterrey. En años recientes más ciudades se incorporan en su monitoreo, debido a la repercusión de este contaminante tiene en la salud de las personas. El caso más severo de contaminación del aire con estas partículas ocurrió en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, donde la concentración fue de 43  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , es decir, más de tres veces el valor permitido.

Por las consideraciones anteriores el objetivo de este trabajo fue evaluar las concentraciones de material particulado de fracción respirable PM2.5 en una empresa dedicada a la industria de la construcción en la fabricación de mezcla asfáltica ubicada en la ciudad de Durango, con la finalidad de comparar las concentraciones obtenidas con la normatividad aplicable, en el sentido de conocer el cumplimiento de esta normatividad y evaluar los riesgos en la salud que se exponen los trabajadores.

## Materiales y Métodos

### Identificación de fuentes de emisiones potenciales y factores de exposición

Para realizar los muestreos y obtener una muestra representativa, se consideraron los siguientes criterios; se identificaron los lugares de mayor exposición de acuerdo a la ubicación de la planta de asfalto y las materias primas utilizadas, se determinaron los productos finales y los residuos generados con los que interactúan los trabajadores en su área de trabajo y las actividades que realizan en su jornada laboral, además de conocer los procesos de producción para establecer la metodología de monitoreo personal en las áreas con mayor exposición a los trabajadores.

### Selección de áreas y personal

Para evaluar la exposición del personal a las fuentes de mayor emisión de material particulado, primeramente, se identificaron las áreas en donde los trabajadores estuvieran en mayor contacto con los polvos finos generados por la manipulación de los agregados pétreos y para la selección del personal a evaluar se considero a los trabajadores que laboraran mayor tiempo en estas áreas. Se tomaron muestras de aire de dos trabajadores a la altura de la zona de respiración en un periodo de 8 horas, durante la jornada laboral.

Los trabajadores seleccionados fueron; el ayudante general de la planta de asfalto, que realiza actividades de mantenimiento, limpieza y funcionamiento de la planta y el operador del tractocargador, que realiza actividades de manipulación, almacenamiento y transporte de agregados pétreos.

Dentro de la selección de muestreos se consideraron también las materias primas utilizadas para la elaboración de sus productos finales, como lo son: mezcla asfáltica en caliente y sello premezclado, en la Tabla 1 se muestra el material utilizado para su fabricación por el cambio de características de los mismos:

Tabla 1. Consumo materia prima en fabricación de pavimentos asfálticos

Producto	Agregados pétreos	Cemento asfáltico	Combustible alterno
Mezcla asfáltica en caliente	50% finos	105 L/m <sup>3</sup>	15 kg/m <sup>3</sup>
	25% gruesos		
	25% medios		
Sello premezclado	3/4"	20 L/m <sup>3</sup>	15 kg/m <sup>3</sup>

### Metodología y equipo para la medición

El monitoreo personal de PM<sub>2.5</sub>, se realizó con base a la metodología NIOSH Método 0600 que establece las condiciones de monitoreo para la toma de muestras y el análisis de estas, como se describe en la Figura 1.

Los equipos utilizados para las mediciones establecidos en esta metodología son:

- Bomba de muestreo universal 44XR con un caudal de aspiración de 2.5 L/min.
- Filtros de membrana de cloruro de polivinilo (PVC) específicamente de 37 mm de diámetro con un tamaño de poro de 5 micras, con almohadillas de soporte.
- Casete portafiltro de 3 cuerpos con un diámetro de 37 mm.
- Ciclón de aluminio de 37 mm.
- Portacasetes.
- Pinzas y guantes.
- Balanza analítica Marca Ohaus Adventurer.

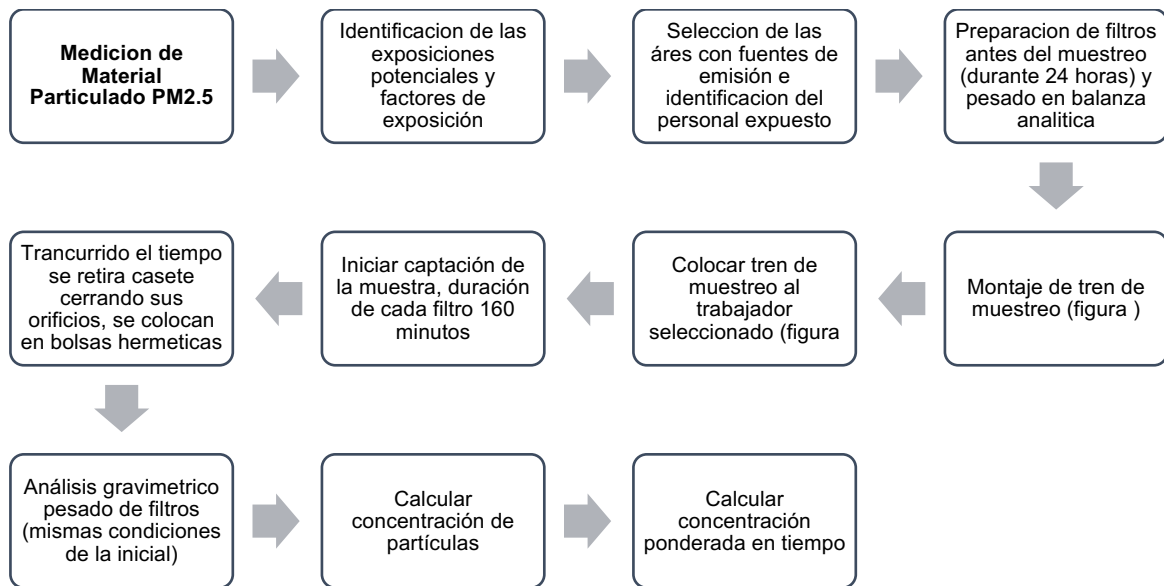


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología utilizada para el monitoreo de PM2.5

El método consiste en tomar una muestra de aire por medio de una bomba de aspiración en la zona de respiración por medio de un tren de muestreo compuesto de una bomba de aspiración, un ciclón, casetes y filtros. La bomba fue calibrada a un caudal de flujo de 2.5 L/min, recomendado cuando se utiliza un ciclón de aluminio. Los filtros tienen la capacidad máxima de 400 L y mínima de 20 L, el tren de muestro utilizado se muestra en la Figura 2.

Se estableció el caudal de flujo, el volumen de muestreo y el tiempo necesario para cada uno de ellos, se utilizaron filtros de 400 L a un flujo de 2.5 L/min, para obtener un tiempo de muestreo total de 160 minutos por cada filtro, se utilizaron un total de tres filtros consecutivos por muestreo personal para el cumplimiento de las 8 horas correspondientes a la jornada laboral.



Figura 2. Tren de muestreo

### Muestras y análisis de muestras

Previo y después de cada muestreo, los filtros fueron acondicionados en un desecador por un periodo de 24 horas, después se pesaron en una balanza analítica en condiciones de presión y temperatura controladas, para después ser ensamblados en los filtros y casetes.

El tren de muestreo fue colocado en cada trabajador, a la altura de la cintura se colocó la bomba de succión, asegurando que no obstruyese las actividades que realizan los trabajadores. El tubo fue conectado con el casete fijándolo en su vestimenta con ayuda de una pinza, como se observa en la Figura 3.

Los muestreos se realizaron en forma continua, se cambiaron los filtros cada 160 minutos y se registraron en la bitácora las observaciones durante la jornada: el tiempo de muestreo, el volumen, la hora de inicio y final del muestreo, entre otros. Además, se verificó que el caudal se mantuviera constante (2.5 L/min), para asegurar la validez de la muestra.



Figura 3. Tren de muestreo instalado en el trabajador

Durante la jornada laboral de 8 horas se obtuvieron un total de tres filtros muestreados contenidos en sus respectivos casetes, luego se extrajeron estos casetes del tren de muestreo y se identificaron. A cada lote de tres filtros se acompañó con un cuarto filtro que sirvió de blanco, el cual fue sometido al mismo muestreo con la diferencia que en este no se hizo pasar aire a través de él. Posteriormente se realizó el análisis gravimétrico, pesando los filtros en las mismas condiciones que antes del muestreo (colocados durante 24 horas en un disecador, pesados en la misma balanza y en las mismas condiciones laborales).

La diferencia entre los pesos obtenidos es expresada en miligramos (mg) para determinar la cantidad de material particulado captado en el filtro, esto dividido por el volumen de aire muestreado calculado, como se presenta en la ecuación 1:

$$C = \frac{(W_2 - W_1) - (B_2 - B_1)}{V} \cdot 10^3, mg/m^3 \quad (1)$$

Donde:

C= Concentración de partículas respirables, (mg/m<sup>3</sup>).

W1= Peso del filtro previo al muestreo, (mg).

W2= Peso del filtro posterior al muestreo (filtro que contiene muestra), (mg).

B1= Peso promedio previo al muestreo del filtro en blanco, (mg).

B2= Peso promedio posterior al muestreo del filtro en blanco, (mg).

V= Volumen de aire muestreado, (L).

Se realizaron dos mediciones por trabajador, un total de tres muestreos al día por dos días, para cada tipo de mezcla producida.

### Calculo concentración promedio ponderada en tiempo

Para determinar el grado de exposición de los trabajadores y evaluar el impacto causado en su salud durante la jornada laboral, se utilizó la comparación de los valores obtenidos en el muestreo realizado con los valores establecidos en la normatividad. Se empleó la concentración promedio ponderada establecida por la norma NOM-010-STPS-2014, la cual considera la sumatoria del tiempo de exposición de cada una de las concentraciones dividida entre la suma de tiempos de medición durante la jornada laboral como se presenta en la ecuación 2:

$$CMA - PPT = \frac{\sum_{i=1}^n CMA_i t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{(CMA_1 t_1) + (CMA_2 t_2) + \dots + (CMA_n t_n)}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \quad (2)$$

Donde:

CMA<sub>i</sub>= Concentración i-ésima del contaminante en el ambiente laboral durante un tiempo determinado (mg/m<sup>3</sup>).

t<sub>i</sub>= Tiempo i-ésimo utilizado en cada toma de muestra, siempre en la misma unidad de tiempo.

### Resultados y Discusión

En este trabajo se evaluaron de manera separada para su comparación las concentraciones de material particulado PM2.5 generadas en el ambiente laboral de la empresa, considerando la fabricación de dos productos finales diferentes: mezcla asfáltica en caliente y sello.

En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos de las concentraciones de PM2.5 para mezcla asfáltica en caliente (dos días por cada trabajador). Asimismo, en la Figura 5 se muestran las concentraciones obtenidas en la elaboración de sello premezclado (dos días por trabajador).

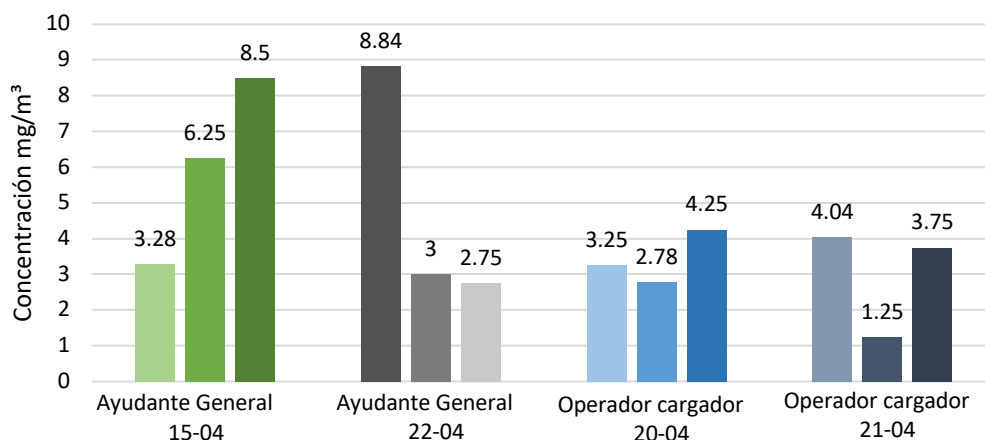


Figura 4. Concentraciones obtenidas de las mediciones en la fabricación de mezcla asfáltica en caliente

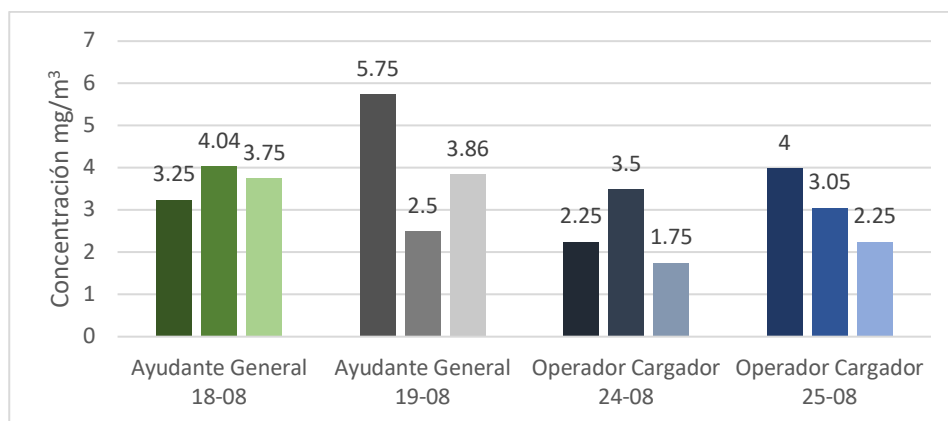


Figura 5. Concentraciones obtenidas de las mediciones en la fabricación de sello premezclado

La concentración promedio ponderada obtenida de cada trabajador se compararon con los valores límite de exposición establecidas en la norma NOM-010-STPS-2014 de la Secretaria de Trabajo y Previsión Social (STPS) de México y el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) de España con un valor de  $3 \text{ mg/m}^3$  y la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos (OSHA, por sus siglas en inglés) con un valor de  $5 \text{ mg/m}^3$ .

En la Figura 6 se muestran la concentración promedio ponderada obtenida en el muestreo en cada trabajador para la fabricación de mezcla asfáltica en caliente en comparación con los valores límites de exposición. De la misma manera en la Figura 7 se muestra la comparación de la concentración promedio ponderada de cada trabajador en la fabricación de sello premezclado.

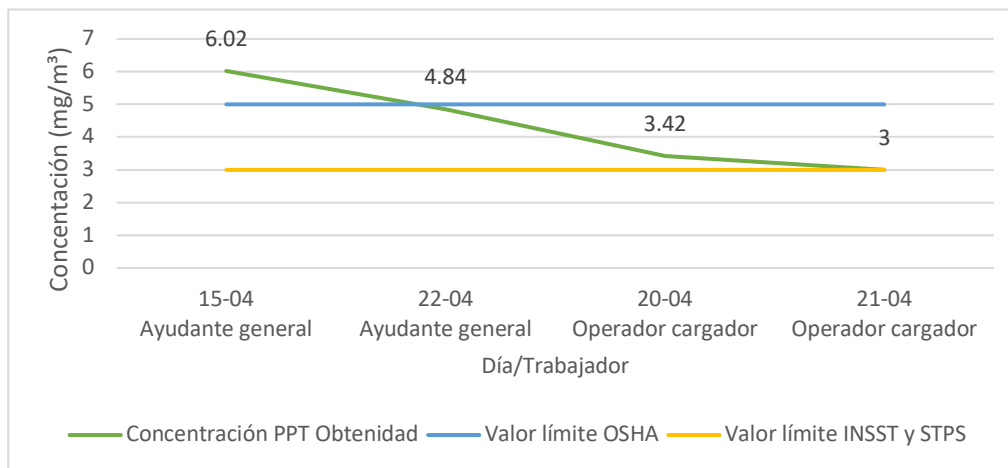


Figura 6. Concentraciones obtenidas en la fabricación de mezcla asfáltica en caliente comparadas con el valor límite máximo de exposición

Con base a los resultados obtenidos en el muestro personal de  $\text{PM}_{2.5}$  se observa que las concentraciones promedio ponderadas más altas se presentaron en la fabricación de mezcla asfáltica en caliente ( $6.02 \text{ mg/m}^3$  y  $4.84 \text{ mg/m}^3$ ) en el ayudante general, seguido de las concentraciones obtenidas en la fabricación de sello premezclado ( $4.03 \text{ mg/m}^3$ ) en las actividades del mismo operador, comparados con los valores proporcionados por la normatividad internacional, se relaciona con las actividades que realiza el trabajador durante su jornada laboral, y con el tipo de material utilizado para la producción.

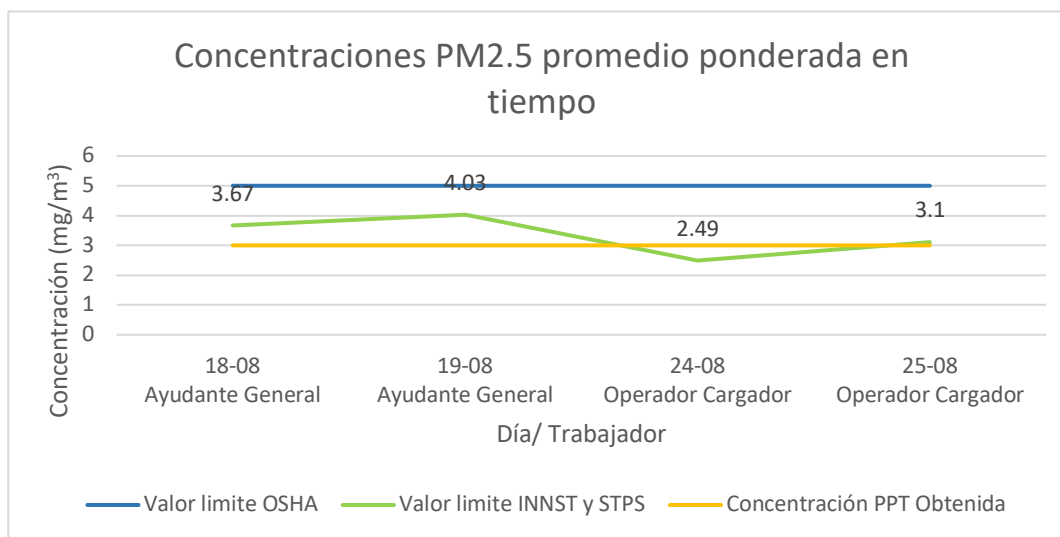


Figura 7. Concentraciones obtenidas en la fabricación de sello premezclado comparadas con el valor límite máximo de exposición

Se concluye que existen varios contaminantes en el ambiente laboral, que son emitidos durante la producción de pavimentos asfálticos, es evidente que presenta un riesgo la exposición de los trabajadores, lo que impulsa a la continuación del estudio en proponer acciones de control o eliminación a la generación de emisiones, asimismo, involucra la evaluación de otros contaminantes atmosféricos generados en las actividades de producción de pavimentos asfálticos, como lo son partículas suspendidas totales, óxidos de azufre, dióxido de carbono, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), entre otros.

### *Tecnologías de abatimiento*

Las tecnologías de abatimiento son empleadas para controlar emisiones de partículas y gases precursores de material particulado, algunas de ellas son filtros de mangas, lavadores de gases, ciclones y precipitador electrostático. Además se recomienda disponer el suministro de un combustibles menos contaminantes, lo que da espacio para que la industria reduzca las emisiones generadas de material particulado y sus gases precursores en su proceso de combustión ( $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$ ), (Mardones & Fuentes, 2017).

Estas tecnologías utilizadas para el control de las emisiones de material particulado para fuentes fijas se describen a continuación:

*Ciclones:* son equipos de recolección de polvo más utilizado, remueven el material particulado de la corriente gaseosa, basándose en el principio de impacto inercial, generado por la fuerza centrífuga. Son adecuados para separar partículas con diámetros mayores de  $5 \mu\text{m}$  con eficiencia hasta del 90%.

*Lavador venturi:* el lavador inyecta chorros finos de líquido a alta velocidad en la estricción de un venturi, el líquido se atomiza y se mezcla con la corriente de gases en la zona de expansión. Pueden alcanzar el 99% de eficiencia en la remoción de partículas pequeñas. Las eficiencias de recolección con más altas para el material particulado de diámetros aproximadamente de  $0,5$  a  $5 \mu\text{m}$ .

*Filtros de mangas:* su función consiste en recoger las partículas sólidas que arrastra una corriente gaseosa haciéndolas pasar a través de un tejido, un filtro es una estructura porosa compuesta de material fibroso que retiene las partículas que pasa el gas que la arrastra, a través de los espacios vacíos del filtro.

*Precipitador electrostático:* este dispositivo de control de partículas utiliza fuerzas eléctricas para mover las partículas fuera de la corriente de gas y las placas del colector. A las partículas se les da una carga eléctrica forzándolas a que pasen a través de una corona, una región en la cual fluyen iones gaseosos. El campo eléctrico que fuerza a las partículas cargadas hacia las paredes, proviene de electrodos que se mantienen a un alto voltaje en el centro de la línea de flujo. La eficiencia de estos equipos depende de factores como la humedad de los gases, la resistividad de la mezcla del gas, partículas etc. (Suárez, 2012)

### **Conclusiones**

Con base a los resultados obtenidos, se observa que las concentraciones promedio ponderadas en tiempo más altas se presentaron en la fabricación de mezcla asfáltica en caliente en el ayudante general con  $6.02 \text{ mg}/\text{m}^3$  y de  $4.84 \text{ mg}/\text{m}^3$  lo que se relaciona con las actividades que realiza el operador el día que se presentó mayor concentración, dentro de las actividades realizadas fue la limpieza y mantenimiento de la planta de asfalto y del tanque de asfalto, ocasionando una mayor exposición a polvos finos.

La exposición de aspiración de material particulado para los trabajadores de la empresa en la fabricación de pavimentos asfálticos puede causar afectaciones en vías respiratorias, irritaciones e inflamaciones debido que pueden llegar a la profundidad de los pulmones y enfermedades cardiovasculares, entre otras afectaciones por lo que se recomienda usar equipo de protección personal en las áreas de mayor exposición, como lo es el área de producción y el almacén de agregados pétreos, asignando las actividades críticas para potenciar el uso en estas. De la misma manera, emplear acciones para disminuir el polvo fino generado en el proceso de fabricación de mezcla asfáltica en caliente.

Además, realizar mantenimientos preventivos en la planta de asfalto para evitar actividades de mantenimiento durante su funcionamiento que ocasiona una mayor exposición al trabajador, esto mediante un plan de trabajo.

A partir de este estudio se permite identificar el aporte de las fuentes que deterioran la calidad de vida de los trabajadores y su entorno, con el objeto de predecir los riesgos e impactos a los que el hombre se encuentra expuesto por la presencia de partículas en el medio ambiente y de esta manera desarrollar medidas de control para mejorar la gestión ambiental en la fabricación de mezcla asfáltica, para el cumplimiento legal de la empresa y con ello mejorar la calidad del aire. El desafío del control de emisiones industriales en pequeñas empresas puede resultar muy costoso en términos de su implementación.

Este artículo brinda la metodología necesaria para la evaluación de material particulado en el ambiente, que permite a las empresas tener una orientación de su desempeño ambiental y afrontar la problemática en la salud de sus trabajadores, es útil para realizar acciones orientadas a desarrollar programas de prevención en enfermedades prevalentes en los trabajadores. Por otra parte, es relevante para la innovación e implementación de tecnologías de equipos para el control de las partículas emitidas a la atmosfera, así como el compromiso del sector industrial enmarcados en procesos de mejora continua.

## Bibliografía

- Aynaya Mamani, M. I., & Picha Mamani, J. J. (2020). Análisis de concentración de material particulado en la actividad de movimiento de tierra y propuesta de medidas de control para el proyecto de pavimentación de vías públicas en el distrito de Cerro Colorado. Universidad Tecnológica de Perú.
- Cheriyana, D. Y Choi, J. (2020). A review of research on particulate matter pollution in the construction industry. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120077
- Moreira Basurto, (2019). Daño a la salud de los trabajadores por exposición al asfalto caliente. *Revista San Gregorio*, (31), 130-137.
- Mardones, C., & Fuentes, J. (2017). Regulaciones para reducir emisiones de PM2.5 y externalidades sobre sus precursores cuando existe disponibilidad de un combustible limpio. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33(3), 505-520.
- Nilsson, P. T., Bergendorf, U., Tinnerberg, H., Nordin, E., Gustavsson, M., Strandberg, B., Albin, M. & Gudmundsson, A. (2018). Emissions into the air from bitumen and rubber bitumen—Implications for asphalt workers' exposure. *Annals of work exposures and health*, 62(7), 828-839.
- NIOSH. (1998). PARTICULATES NOT OTHERWISE REGULATED, RESPIRABLE: METHOD 0600 (Fourth ed.). NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 15 de enero de 1998.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-010-STPS-2014, Agentes químicos contaminantes del ambiente laboral-Reconocimiento, evaluación y control. Diario Oficial de la Federación, 28 de abril de 2014.
- NORMA UNE-EN-689:1996. Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de medición. Normalización Española, 24 de marzo de 1996.
- Suárez, C. A. A. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. *Revista Luna azul*, (34), 195-213.