

# Prevention of Health Risks to Personnel Due to Exposure to Chemical Contaminants Produced by Asphalt in the Joint Sealing Process

## Prevención de riesgos a la salud de personal por exposición a contaminantes químicos producidos por asfalto en el proceso de sellado de juntas

Grace Acevedo-Obando, Mg<sup>1</sup>, Ronald Quispe-Chilo, Ing<sup>1</sup>, Rossell Yucra-Ccosaña, Ing<sup>1</sup>, Jonathan Almirón, Dr<sup>2</sup>, Belinda Chavez, Ing<sup>2</sup>, Ronald Rosales-Meza, Mg<sup>3</sup> y Danny Tupayachy-Quispe, Dr<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica del Perú, Perú, C16537@utp.edu.pe, 1213523@utp.edu.pe, 1131852@utp.edu.pe

<sup>2</sup>Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, jalmiron@unsa.edu.pe, bchavezcr@unsa.edu.pe

<sup>3</sup>Universidad Privada del Norte, Perú, ronald.rosales@upn.pe

<sup>4</sup>Universidad Católica de Santa María, Perú, dtupayachy@ucsm.edu.pe

*Abstract—Two tests (pre and posttest) were carried out to monitor chemical agents such as inhalable dust, benzene, and gases (SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO and O<sub>2</sub>), derived from asphalt in the process of sealing joints. The results of the investigation show the decrease in particulate matter (inhalable dust) from 0.67% to 0.007% in the inhalable dust posttest.*

*While the values for benzene were of a concentration of 0.000071ppm and 0.0000352ppm for both pre and posttest, being values below 0.000227ppm.*

*Finally, the concentration of gases present in the work environment of the preparation of the asphalt mixture, a decrease in SO<sub>2</sub> concentration was found from 123.75% to 21.25% in the post test, for CO it had a decrease of 296% at 100% in the post test, that is, the maximum permissible limit was reached, while for CO<sub>2</sub> it decreased from 20.5% to 3.5% in the post test, and finally for O<sub>2</sub> the values remained at 20%.*

**Keywords—Asphalt, chemical risk, occupational hygiene**

*Resumen—Se realizaron dos ensayos (pre y post test) para monitorear agentes químicos como polvo inhalable, benceno y gases (SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO y O<sub>2</sub>), derivados del asfalto en el proceso de sellado de juntas. Los resultados de la investigación muestran la disminución de material particulado (polvo inhalable) de 0.67% a 0.007% en el post test de polvo inhalable.*

*Mientras que los valores para el benceno fueron de una concentración de 0.000071ppm y 0.0000352ppm tanto para el pre como para el post test, siendo valores por debajo de 0.000227ppm.*

*Finalmente, la concentración de gases presentes en el ambiente de trabajo de la preparación de la mezcla asfáltica, se encontró una disminución en la concentración de SO<sub>2</sub> del 123.75% al 21.25% en el post test, para el CO tuvo una disminución del 296% al 100% en el post test, es decir, se alcanzó el límite máximo permisible, mientras que para el CO<sub>2</sub> disminuyó del 20.5% al 3.5% en el post test, y finalmente para el O<sub>2</sub> los valores se mantuvieron en el 20%.*

**Palabras clave—Asfalto, riesgo químico, higiene ocupacional**

### I. INTRODUCCIÓN

En el 2021 según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Internacional del Trabajo (OIT), hace referencia que casi 2 millones de personas mueren cada año por causas relacionadas con el trabajo, solo en el año 2016, 1.9 millones de personas murieron con enfermedades y lesiones relacionadas con el trabajo, las enfermedades no transmisibles representaron el 81% de las muertes. Las principales causas de muerte fueron la enfermedad pulmonar obstructiva crónica con 450000 muertes; accidente cardiovascular con 400.000 muertes y cardiopatía isquémica con 350.000 muertes. Las lesiones ocupacionales causaron el 19% de las muertes con 360.000 muertes. Se consideran 19 factores de riesgo ocupacional, incluida la exposición a largas horas de trabajo y la exposición en el lugar de trabajo a la contaminación del aire, asma, carcinógenos, factores de riesgo ergonómico y ruido. Siendo el riesgo clave, la exposición a largas horas de trabajo, vinculada a aproximadamente 750.000 muertes. La exposición en el lugar de trabajo a la contaminación del aire (partículas, gases y humos) fue responsable de 450.000 muertes [1].

El asfalto, comúnmente llamado betún, es un producto negro o marrón oscuro, semisólido o líquido sólido o viscoso similar al cemento producido por la destilación no destructiva del petróleo crudo durante el refinado del petróleo [2]. Es un material aglomerante resistente y adhesivo conformado por mezclas de hidrocarburos no volátiles de alto peso molecular y agregados, altamente impermeable y duradero, alifáticos, alcanos cíclicos, hidrocarburos, compuestos aromáticos policíclicos (PACs) y metales (por ejemplo, hierro, níquel y vanadio) [3].

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Los componentes elementales en la mayoría de los asfaltos contienen entre un 79- 88% en peso de carbono, 7-13% en peso de hidrogeno, trazas de 8% en peso de azufre, 2-8% en peso de oxígeno y trazas de 3% en peso de nitrógeno. Cuando se calienta el asfalto se desprenden vapores, que al enfriarse se condensan. En estos vapores abundan los componentes más volátiles presentes en el asfalto y cabría esperar que fueran distintos del material original desde el punto de vista químico y posiblemente desde el toxicológico. Los gases de asfalto son la nube de pequeñas partículas formadas por condensación a partir del estado gaseoso tras la volatilización del asfalto. Sin embargo, dado que no todos los componentes del vapor se condensan al mismo tiempo, los trabajadores no sólo están expuestos a los humos de asfalto, sino también a los vapores. No se ha determinado bien el carácter físico de los humos y los vapores. No obstante, en un análisis químico de los humos de asfalto oxidado para techado y de asfalto no oxidado para pavimentación se identificaron numerosas sustancias químicas del mismo tipo que son, Hidrocarburos (Benceno, Alcanos, Alquenos, Naftalenos, Indanos, Fluorenos, etc), compuestos que contienen Azufre (Benzotiofenos, Dibenzotiofenos, etc), compuestos que contienen Oxígeno (Benzofuranos, Dibenzofuranos, Acetofenonas, Fluorenonas, etc), compuestos que contienen Nitrogeno (Carbazoles), compuestos que contienen Oxígeno y azufre (Hidroxibenzotioles) [2]. Además, la manera en la cual se utiliza el asfalto durante las operaciones de pavimentación y de techado probablemente influye en la composición de los humos y los vapores. Habida cuenta de que la composición del asfalto y de sus humos y vapores varía en función de la temperatura [4], el proceso de fabricación, la presencia de aditivos y modificadores y las prácticas de trabajo.

Los investigadores han llegado a la conclusión de que la temperatura, la velocidad de agitación y la aspiración frente a la expulsión del aire que se recoge son factores que influyen en la composición química de los humos [2] [5]. Estas emisiones químicas del asfalto son cancerígenas para los trabajadores cuando existe una exposición a largo plazo, ya que se han demostrado que los humos son mutagénicos, causando un aumento de la formación de micronúcleos y que inhiben la comunicación intercelular en los fibroblastos de pulmón, irritación de las membranas serosas de las conjuntivas (irritación ocular) y de las membranas mucosas del tracto respiratorio superior (irritación nasal y de la garganta) y tos [6] [7]. Otros síntomas incluyen irritación de la piel, prurito, erupciones, náuseas, dolor de estómago, disminución del apetito, dolores de cabeza y fatiga. [2] [8] [9]. La relación entre el asfalto y el cáncer sigue siendo controversial, en estudios epidemiológicos de 2002 se informó que el riesgo de cáncer de pulmón en trabajadores expuestos al humo de betún era comparable al de los trabajadores sin exposición al humo de betún, en el 2003 identificaron un mayor riesgo de cáncer de pulmón, pero que el aumento en el riesgo podría explicarse por los hábitos de fumar o la exposición al alquitrán en una etapa anterior del trabajo del trabajador en contacto con el asfalto [10] [11].

Esta problemática mencionada no escapa de la realidad en la construcción civil, donde el proceso de sellado de juntas y sus actividades están expuestas a grandes cantidades de agentes químicos suspendidas en el ambiente laboral, entre las cuales se encuentran material particulado y gases, pudiendo provocar en los trabajadores riesgos de salud.

El Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (INSSO) y la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (ASSO) brinda información general sobre peligros químicos, higiene industrial para trabajadores, empresarios y profesionales de la salud laboral. Así mismo informa a los usuarios a reconocer y controlar los riesgos químicos en el trabajo y los máximos límites permisibles de estos químicos [12].

La presente investigación busca analizar la concentración de los distintos contaminantes químicos con la intención de prevenir los riesgos de la salud generados por exposición a contaminantes químicos producidos por el asfalto en el proceso de sellado de juntas.

## II. METODOLOGÍA

Este trabajo se realizó durante el sellado de juntas de 1 pulgada de espesor la distancia de análisis fue 1200 m. aproximadamente, en la municipalidad provincial de Espinar - Perú, para ello se tomó una muestra de 10 personas, las muestras se tomaron durante 2 meses, cada 2 semanas en una jornada laboral de 8 horas de exposición entre las 9 am y 5 pm; en la que se identificaron los equipos básicos de protección personal de los trabajadores (guantes, casco, chaleco y lentes de sol) como se observa en la Fig. 1.



Fig. 1. Equipos de seguridad básicos.

### 2.1. Toma de muestra sin medidas de seguridad – pre test

Es decir, se evaluó los valores permisibles de agentes químicos, tales como, el material particulado en suspensión, concentración de benceno y concentración de gases ( $SO_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$  y  $O_2$ ) sin ningún tipo de programa de prevención de riesgos químicos al personal, quienes usaron Equipos de Protección Personal básicos (EPPs) como se indica en la Fig. 1, sin capacitaciones y una mezcladora de asfalto convencional.

### 2.2. Toma de muestra con medidas de seguridad – post test

Se implementó un programa de prevención de riesgos químicos para el proceso de sellado de juntas como programas de capacitaciones, señalética de riesgo químico, EPPs y se diseñó de una mezcladora de asfalto. Luego se realizó una

evaluación de post test es decir se evaluó nuevamente los valores permisibles de agentes químicos como el material particulado en suspensión, concentración de benceno y concentración de gases ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  y  $\text{O}_2$ ).

### 2.3 Análisis de Agentes Químicos

#### 2.3.1. Análisis del material particulado en suspensión

Para ello se consideró lo establecido en el Manual de Métodos 0500 (Partículas no reguladas) del INSSO, para los polvos inhalables. Este método presenta un valor límite máximo permisible para material particulado en el ambiente de trabajo, de  $15\text{mg}/\text{m}^3$ .

Para esta evaluación se trabajó con una bomba de muestreo, marca Criffer, modelo Accura-2.

El procedimiento fue, calibrar la bomba de muestreo personal al flujo de 2 l/min para partículas inhalables, luego se situó la bomba gravimétrica en la cintura del trabajador (zona posterior), asegurada a su cinturón por medio de una correa y empleando como extensión el aislante de tubo tygon el cual recorre la espalda, Se conectó el porta filtro fijándolo con una pinza al overol o chaqueta, para finalmente alcanzar la zona respiratoria del trabajador y así poder captar los agentes químicos, se anotó la hora de inicio del muestreo. Para el muestreo de partículas inhalables se empleó un filtro circular de PVC con una porosidad de  $5.0\ \mu\text{m}$ , 37 mm de diámetro y  $60\ \mu\text{m}$  de espesor. Estos filtros se encuentran contenidos en su respectivo casete porta filtro para luego ser conectado a la bomba gravimétrica, mediante el tubo tygon, al finalizar el muestreo se apagó la bomba y se verificó el tiempo de duración exacto del muestreo, se retiró el porta filtro del conjunto y se colocaron los tapones de cierre en los orificios del porta filtro.

#### 2.3.2. Análisis de concentración de benceno

Para evaluar la concentración de Benceno, se utilizó el método 1501 (hidrocarburos, aromáticos) del INSSO. Presentando un valor límite máximo permisible de  $3.19\ \text{mg}/\text{m}^3$  o 1ppm.

Para ello se usó como equipo, una bomba de muestreo de marca DWYER, modelo MMA-20.

Para el procedimiento de toma de muestra, primero se calibró la bomba de muestreo a un flujo de 0.2 l/min para benceno, se armó el trípode a una altura de 1.60 m, luego se conectó el filtro fijándolo en el tubo tygon, para finalmente alcanzar la altura de 1.60 m, se anotó la hora de inicio del muestreo. Para el muestreo de benceno se empleó un tubo de vidrio, 7 cm de largo, 6 mm de diámetro. Estos filtros se encuentran sellados al fuego, con carbón activado con un tapón de espuma de uretano de 2mm. Finalizando el muestreo se apagó la bomba y se anotó la hora de culminación del muestreo, se retiró el filtro del conjunto y se envolvió en papel aluminio con dos tapones en cada extremo para evitar que la muestra se contamine e inmediatamente después se guardó el filtro en la bolsa ziplock y se procedió a colocarle el número de muestra, fecha de muestreo, contaminante, etc., para su identificación en el laboratorio.

#### 2.3.3. Análisis de concentración de gases.

Para evaluar la concentración de gases, se consideró la guía de bolsillo sobre los riesgos químicos de INSSO, en dicha guía presenta el valor de límite máximo permisible de los diferentes gases a evaluar, siendo para  $\text{CO}$  ( $21\text{mg}/\text{m}^3$  o 25ppm),  $\text{CO}_2$  ( $9000\text{mg}/\text{m}^3$  o 5000ppm),  $\text{SO}_2$  ( $5.2\text{mg}/\text{m}^3$  o 2ppm) y  $\text{O}_2$  (19.5%).

Para la medición de estos gases se utilizó diferentes equipos como el detector de gases MULTIRAE para medir el  $\text{SO}_2$ , el medidor de gas TOXIRAE PRO para medir el  $\text{CO}_2$  y el detector de gases ALTAIR 4XR para medir  $\text{CO}$  y  $\text{O}_2$ .

El procedimiento de toma de muestra fue, Se colocó el detector de gases cercano a las vías respiratorias adaptándolo con el clip de sujeción, se anotó la hora de inicio del muestreo, Concluido el muestreo se apagó el detector y se anotó la hora exacta de finalización del muestreo, tal como se observa en la Fig 2. Inmediatamente se colocó la información necesaria (fecha, hora de inicio y finalización de muestreo, contaminante, concentración).



Fig. 2 Medición de gases contaminantes.

#### 2.4. Programa de prevención de riesgos químicos

Dentro del programa de prevención de riesgos químicos, se implementó, programas de capacitaciones que se daban antes de realizar sus labores, tales como, “Prevención de riesgos a la salud por exposición a agentes químicos del asfalto”, “Riesgos a la salud por exposición a material particulado”, “Riesgos a la salud por exposición a benceno”, “Riesgos a la salud por exposición a gases contaminantes” y “Entrenamiento del uso correcto de la mezcladora mecanizada de asfalto”.

También se implementó señaléticas en el área de influencia por exposición a riesgo químico. En cuanto a los EPPs se implementó respiradores (respiradores de media mascara con cartucho para trabajos con exposición a gases y vapores, respirador de mascara completa con cartuchos para trabajos con exposición a material particulado, respirador y mascara de gas completa con filtros para trabajos con exposición a material particulado, máscara full-face con filtro para gases ácidos GMB - P100 o equivalente,), guantes de cuero para evitar el calentamiento prematuro y quemaduras por contacto con superficies calientes o salpicaduras, protección ocular (Lentes de luna

transparente, para evitar el ingreso de partículas a los ojos y la irritación ocular, Careta facial para evitar el ingreso de partículas a los ojos, irritación ocular y evitar la salpicadura de partículas incandescentes.) y protección corporal (Mandil de cuero, para trabajos con materiales calientes, donde exista proyección de partículas incandescentes o chispas, Mameluco descartable (tyvek) de cuerpo entero, con capucha para evitar el contacto con agentes químicos del asfalto) como se observa en la Fig. 3. Por último, se realizó un diseño de una mezcladora de asfalto como se observa en la Fig. 4 y el correcto uso de esta, como se observa en la Fig. 5.



Fig. 3 EPPs correctos para manipular asfalto



Fig. 4 Diseño de mezcladora de asfalto.



Fig. 5 Uso de la mezcladora de asfalto

### III. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

#### 3.1. Análisis de Agentes Químicos pre test

##### 3.1.1. Análisis del material particulado en suspensión

Los resultados de pre test y los límites máximos permisibles se pueden observar en la TABLA I, donde la concentración de polvos inhalables, dio una concentración de  $0.103 \text{ mg/m}^3$  de polvos inhalables, esta medición inicial evidencia un valor inferior a los límites máximos permisibles, lo que indica que se cumple con los límites establecidos por INSSO. Al no acercarse a  $15 \text{ mg/m}^3$  en la medición inicial, estos valores demostrarían bajo riesgo químico en el proceso de sellado de juntas, por exposición a polvos inhalables.

En investigaciones de 2002 se demuestra que una exposición a largo plazo en zonas de alto tráfico se produjo mortalidad respiratoria y cardiovascular, de 120000 sujetos evaluados, 17674 fallecieron y 2234 padecieron de cáncer pulmonar [13].

##### 3.1.2. Resultados de benceno

Los resultados de pre test y los límites máximos permisibles se pueden observar en la TABLA I. La concentración de benceno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) evaluado es de  $0.0000711 \text{ ppm} < 1 \text{ ppm}$  inferior a los LMP establecidos por el método 1501 (hidrocarburos, aromáticos) del Análisis de INSSO. Estos valores demostrarían bajo riesgo químico en el proceso de sellado de juntas, por exposición a benceno.

En investigaciones en el 2022, se determinó que la exposición de mezcla de benceno, tolueno, etilbenceno, xileno y estireno disminuye la función de las vías respiratorias pequeñas [14].

##### 3.1.3. Resultados del análisis de la concentración de gases

Tras la medición (pre test) de los gases ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{O}_2$ ), por cada puesto de trabajo en el proceso de sellado de juntas, se obtuvieron los siguientes resultados.

###### Concentración de gases de $\text{SO}_2$

La concentración de  $\text{SO}_2$  promedio en cada punto de medición exhibe un  $2.475 \text{ ppm}$ , siendo superior a los límites máximo permisibles, este valor tendría moderado riesgo en la salud de los trabajadores.

###### Concentración de gases de $\text{CO}$

La concentración de  $\text{CO}$ , tuvo un valor de  $74 \text{ ppm}$ , superando los límites máximos permisibles, por ende, es

considerado un alto riesgo para la salud de los trabajadores como al medio ambiente.

#### Concentración de gases de CO<sub>2</sub>

En el pre test de dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), se obtuvo un promedio de 1025ppm en los puntos de medición, considerado un valor de bajo riesgo.

#### Concentración de gases de O<sub>2</sub>

Los valores de oxígeno (O<sub>2</sub>) en el pre test, evidencian promedios de 20.225% valores de moderado riesgo.

### 3.2. Análisis de Agentes Químicos post test

#### 3.2.1 Análisis del material particulado en suspensión

La concentración de polvos inhalables en los puntos evaluados dio una concentración de 0.001 mg/m<sup>3</sup> de polvos inhalables, como se puede observar en la TABLA I, esta medición inicial evidencia un valor inferior a los LMP como también valores inferiores (antes de implementar medidas preventivas), lo que indica que se cumple con los límites establecidos por INSSO. Al no acercarse a 15 mg/m<sup>3</sup> en la medición final, estos valores demostrarían bajo riesgo químico en el proceso de sellado de juntas, por exposición a polvos inhalables.

#### 3.2.2. Resultados de benceno

La concentración de benceno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), como se puede observar en la TABLA I, en los distintos puntos, dio como resultado de 0.0000352 ppm la cual es inferior a los LMP establecidos por el método 1501 (hidrocarburos, aromáticos) de INSSO y también valores inferiores, en el proceso de sellado de juntas, por exposición a benceno.

#### 3.2.3. Resultados del análisis de la concentración de gases

Tras la medición (post test) de los gases (CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>), por cada puesto de trabajo en el proceso de sellado de juntas, se obtuvieron los siguientes resultados.

#### Concentración de gases de SO<sub>2</sub>

Los valores obtenidos de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) como se puede ver en la TABLA I, fue de 0.425ppm, por lo que no se superan los valores del límite máximo permisible de 2 ppm.

#### Concentración de gases de CO

Los valores obtenidos de monóxido de Carbono (CO) como se observa en la TABLA I, muestran una gran disminución, pero se obtuvo valores similares a los límites permisibles, siendo 25ppm.

#### Concentración de gases de CO<sub>2</sub>

En el post test de dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) como se observa en la TABLA I, se han obtenido en los diferentes puntos de medición de 175ppm, valores que no exceden los límites máximos permisibles, como también valores inferiores.

#### Concentración de gases de O<sub>2</sub>

Los valores de oxígeno (O<sub>2</sub>) en el post test, como se observa en la TABLA I, dio un promedio de 20.2% por lo que supera los límites máximos permisible, llegando a la conclusión de la falta de medidas de protección.

TABLA I  
RESULTADOS DE LOS LIMITES PERMISIBLES DE AGENTES QUÍMICOS  
CONTAMINANTES DEL ASFALTO PRE Y POST TEST

Agente químico	LMP*	Pre-test	Post-test
Polvos inhalables	15 (mg/m <sup>3</sup> )	0.103	0.001
Benceno	1 ppm	0.0000711	0.0000352
SO <sub>2</sub>	2 ppm	2.475	0.425
CO	25 ppm	74	25
CO <sub>2</sub>	5000 ppm	1025	175
O <sub>2</sub>	19.50%	20.225	20.2

\*Límite Máximo Permisible. Según la INSSO y ASSO

Observando los valores dados tanto en pre y post test, podemos decir que hubo una reducción significativa, al aplicar medidas de control de riesgo según la jerarquía de control contra los diferentes agentes químicos que afectan a la salud del trabajador, como: Control de ingeniería, control administrativo antes de la preparación de asfalto, retroalimentación, difusiones de manejo de la mezcladora de asfalto, entrega de adecuados Equipo de Protección Personal (EPPs), etc. existen muchas investigaciones donde verifican la disminución de agentes químicos del asfalto, aplicando medidas de control de riesgos como los ya mencionados [15] [16].

## IV. CONCLUSIONES

Al analizar la cantidad de material particulado en el ambiente laboral de la preparación de la mezcla asfáltica, se encontró de un 0.67% disminuyo a 0.007% en el post test de polvos inhalables.

Mientras los valores para el benceno fueron de una concentración 0.000071ppm y 0.0000352ppm tanto para pre y post test, siendo valores por debajo de 1ppm.

Finalmente, la concentración de gases presentes en el ambiente laboral de la preparación de la mezcla asfáltica, se encontraron una disminución de concentración de SO<sub>2</sub> de un 123.75% a un 21.25% en el post test, para CO tuvo una disminución de un 296% a un 100% en el post test, es decir que llego a una el límite máximo permisible, mientras para CO<sub>2</sub> disminuyo de un 20.5% a un 3.5% en el post test, y finalmente para O<sub>2</sub> los valores se mantuvieron en un 20%.

## REFERENCIAS

- [1] WHO/ILO, «WHO/ILO: Almost 2 million people die from work-related causes each year,» World Health Organization, 17 09 2021. [En línea]. Available: <https://www.who.int/news/item/16-09-2021-who-ilo-almost-2-million-people-die-from-work-related-causes-each-year>. [Último acceso: 24 02 2022].
- [2] J. A. Wess, L. D. Olsen y M. Haring Sweeney, «ASPHALT (BITUMEN),» National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, Ohio, USA, 2004.
- [3] S. a. H. National Institute for Occupational , Health Effects of Occupational Exposure to Asphalt, NIOSH, 2000.

- [4] A. J. Kriech, C. A. Schreiner, L. V. Osborn y A. J. Riley, «Assessing cancer hazards of bitumen emissions – a case study for complex petroleum substances,» *Critical Reviews in Toxicology*, vol. 48, n° 2, pp. 121-142, 2018.
- [5] J. Kumpiene, M. Ó. Larsson, I. Carabante y H. P. H. Arp, «Roads with underlying tar asphalt - spreading, bioavailability and toxicity of their polycyclic aromatic hydrocarbons,» *Environmental Pollution*, vol. 289, 2021.
- [6] Jane Y. C. Ma, Apavoo Rengasamy, Dave Frazer, Mark W. Barger, Ann F. Hubbs, Lori Battelli, Seith Tomblyn, Samuel Stone y Vince Castranova, «Inhalation Exposure of Rats to Asphalt Fumes Generated at Paving Temperatures Alters Pulmonary Xenobiotic Metabolism Pathways without Lung Injury,» *Environ Health Perspect.*, vol. 111, n° 9, pp. 1215 - 1221, 2003.
- [7] Kenneth A Mundt, Linda D Dell, Lori Crawford , sonja n sax y paolo bofetta, «Cancer Risk Associated With Exposure to Bitumen and Bitumen Fumes: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis,» *J Occup Environ Med.*, vol. 60, n° 1, pp. 6 - 54, 2018.
- [8] A.Cachada, R.Pereira, E. Ferreirada Silva y A.C.Duarte, «The prediction of PAHs bioavailability in soils using chemical methods: State of the art and future challenges,» *Science of The Total Environment*, vol. 472, pp. 463-480, 2014.
- [9] L. Shiyang, H. Wingtat y L. Zhen, «Air pollutant emissions and acoustic performance of hot mix asphalts,» *Construction and Building Materials*, vol. 129, pp. 1-10, 2016.
- [10] Britt Grethe Randem, Sverre Langard, Inge Dale, Johny Kongerud, Jan Ivar Martinsen y Aage Andersen, «Cancer Incidence Among Male Norwegian Asphalt Workers,» *AMERICAN JOURNAL OF INDUSTRIAL MEDICINE*, vol. 43, pp. 88-95, 2003.
- [11] Eran Rozewski, Omran Taqi , Elham H. Fini, Nastassja A. Lewinski y Judith Klein-Seetharaman, «Systems biology of asphalt pollutants and their human molecular targets,» *Frontiers in Systems Biology*, vol. 2, 2023.
- [12] ( DHHS, «NIOSH POCKET GUIDE TO CHEMICAL HAZARDS,» NIOSH Publication N° 2005-149, 2007.
- [13] Bert Brunekreef, Rob Beelen, Gerard Hoek, Leo Schouten, Sandra Bausch-Goldbohm, Paul Fischer, Ben Armstrong, Edward Hughes, Michael Jerrett y Piet van den Brandt, «Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution on Respiratory and Cardiovascular Mortality in the Netherlands: The NLCS-AIR Study,» *Health Effects Institute*, vol. 139, n° 139, pp. 5-89, 2009.
- [14] Qilong Liao, Rui Du , Rui Ma, Xin Liu, Yan Zhang , Zhaorui Zhang, Penglei Ji, Minghui Xiao, Ying Cui , Xiumei Xing, Lili Liu, Shanfeng Dang, Qifei Deng y Yongmei Xiao, «Association between exposure to a mixture of benzene, toluene, ethylbenzene, xylene, and styrene (BTEXS) and small airways function: A cross-sectional study,» *Environmental Research*, vol. 212, 2022.
- [15] M. Wang, C. Wang, S. Huang y H. Yuan, «Study on asphalt volatile organic compounds emission reduction: A state-of-the-art review,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 318, 2021.
- [16] D. E. Dunzik, R. D. Gilman, B. C. Haigne, V. Wesley J. y T. S. Calzavara, «Evaluation and Enhancement of the Performance of Benzene Solubles Methods for Asphalt Fume Assessment,» *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 13, n° 3, pp. 166-171, 2011.