

ESTUDIO DE EXPOSICIÓN A MATERIAL PARTICULADO DIESEL EN OBRAS CIVILES SUBTERRANEAS

GRUPOS DE EXPOSICIÓN SIMILAR PARA LA
EVALUACIÓN DE RUIDO OCUPACIONAL

Christian Albornoz V., Rolando Vilasau D., Juan Alcaíno L., Departamento de Salud Ocupacional; Instituto de Salud Pública de Chile. María Carballo M., Javier Madera G., Departamento de Prevención Técnica; Instituto Nacional de Silicosis de España.

ESTUDIO DE EXPOSICIÓN A MATERIAL PARTICULADO DIESEL EN OBRAS CIVILES SUBTERRANEAS

1. INTRODUCCIÓN.

La exposición a Particulado Diésel, producido por la combustión de maquinarias o equipos que utilizan diésel como combustible, constituye un riesgo para la salud de los trabajadores que operan estas máquinas o equipos en ambientes cerrados (minas subterráneas, edificios en construcción, talleres o túneles, etc), es así, que en el año 1988 el Particulado Diésel fue reconocido como posible cancerígeno en humanos (Grupo 2A) por el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), y posteriormente en 2012, fue clasificado como cancerígeno en humanos (Grupo 1) por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC).

Las emisiones provenientes del escape del motor diésel son una mezcla compleja de gases, vapores y material particulado diésel (DPM) en estado de aerosoles sólidos y líquidos, cuyo origen son partículas de carbono generadas durante la combustión en el cilindro del motor. En los humos del escape que descarga el motor diésel se pueden encontrar fundamentalmente los siguientes compuestos:

- a) **Gases:** Monóxido de carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂), Dióxido de Azufre (SO₂), y Óxidos de Nitrógeno (NO_x) entre otros.
- b) **Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs):** Hexano, Heptano, Benceno, Tolueno, etc.
- c) **Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs):** Naftaleno, Acenaftileno, Acenafteno, Fluoreno, Fenantreno, etc.
- d) **DPM:** Puede contener Carbono Elemental (CE), Carbono Orgánico (CO), Carbono de Carbonatos (CC).
- e) **Metales:** Arsénico, cadmio, cromo, cobre, mercurio, níquel, plomo, selenio y zinc.

Dentro de estas emisiones además se puede encontrar formaldehído. La mayoría de los compuestos orgánicos se adsorben sobre las partículas de carbono y provienen del carburante y los lubricantes y su composición varía según el carburante y la forma de trabajo del motor.

Para el cálculo de la concentración de material particulado diésel se consideró al Carbono Total (TC) por ser el sustituto más apropiado para medir esta sustancia, puesto que representa más del 80% de la masa total del DPM¹. Bajo este concepto, se recomienda realizar mediciones de Carbono Elemental (CE), Carbono Orgánico (CO) y Carbono de Carbonatos (CC) y de esta forma calcular el Carbono Total según la siguiente ecuación (CT= CE+CO+CC).

En cuanto al límite de exposición, algunos países disponen de límites permisibles específicos para esta sustancia; sin embargo, a nivel mundial no existe un criterio unificado para tomar como referencia un único límite permisible, es más, ni siquiera existe consenso sobre el tipo de carbón (CE, CO, CT) a muestrear.

El Carbono Elemental (CE) o también conocido como hollín, proviene de actividades antropogénicas (combustión de motores diésel), producto del proceso incompleto de combustión. Una vez formado el CE,

1 Pierson y Brachaczek 1983; Kittelson 1998.

la mayor parte de las partículas se combinan con el oxígeno y se queman durante las etapas posteriores del proceso de combustión [Kittelson et al. 1986; EPA 2001a; Kittelson 1998²]. Sin embargo, el resto se emite desde el escape del motor como material particulado sólido, formando el núcleo de un aglomerado de partículas.

Por otra parte, los compuestos de carbono orgánicos se forman cuando se consumen los hidrocarburos (en combustible y aceite lubricante) pero no oxidan totalmente durante el proceso de combustión [Heywood 1988³].

Sobre una base de masas, el CE es el mayor contribuyente de material particulado durante el proceso de combustión de un motor diésel [Noll et al. 2007].

Considerando que en Chile no tenemos antecedentes sobre la exposición de los trabajadores a Material Particulado Diésel, el Instituto de Salud Pública, en conjunto con el Instituto Nacional de Silicosis de España, desarrollan un estudio preliminar para determinar los niveles de exposición a este agente en obras civiles subterráneas.

2. ANTECEDENTES LEGALES.

Chile no cuenta, para lugares de trabajo, con un límite permisible específico para el Material Particulado Diésel, a diferencia de otros países que si regulan la exposición a este agente. Sin embargo y para efectos de este estudio, se compararán los resultados con los Valores Limite (VL) que han establecido algunas entidades de prestigio internacional. En la tabla 2-1 se muestran diferentes valores límites que regulan la exposición a esta sustancia.

Tabla 2-1.

Límites de Exposición por Institución, Fecha de Datos Presentados y Tipo de Sustancia Regulada sobre Particulado Diésel.

Institución	Fecha Datos Presentados	Límite de Exposición	Sustancia Medida
Canadian ad hoc Diesel Committee (presently in effect in most Canadian Mining Provinces).	1990	1.50 mg/m ³	RCD
Mine Safety and Health Administration USA.	2001	0.16-0.40 mg/m ³	TC
Switzerland, Tunnelling.	N/A	0.20 mg/m ³	TC
American Conf. of Gov. Industrial Hygienists USA.	1998	0.05 mg/m ³	TC
American Conf. of Gov. Industrial Hygienists USA.	2001	0.02 mg/m ³	EC
Germany, Tunnelling.	N/A	0.10 mg/m ³	EC

TC: Carbono total; EC: Carbono elemental; RCD: Polvo combustible respirable.

2-3 Citado en National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Diesel Aerosols and Gases in Underground Mines: Guide to Exposure Assessment and Control. Report of Investigations 9687. 2011.

3. ANTECEDENTES DEL PROCESO.

La medición de Material Particulado Diésel se realizó en una faena subterránea de una obra civil. El proceso de construcción del túnel es realizado a través del método austriaco N.A.T.M. (New Austrian Tunneling Method), la excavación se realiza con una maquina retro-excavadora convencional y se retira la marina por medio de dos cargadores frontales, a medida que se excava se colocan marcos de sostenimiento y un revestimiento de hormigón proyectado (shotcrete).

Al interior del túnel los trabajadores se desempeñan en labores de perforación, preparación de enfierradura, limpieza, traslado de materiales, proyección de shotcrete (con bomba de hormigón) y manejo de vehículos de carga pesada (cargador frontal, retro-excavadora, mini-mixer).

Cabe destacar que todos los vehículos y equipos mencionados anteriormente, utilizan motores de combustión interna Diésel que permanentemente, producto de la alta demanda energética que las tareas requieren para su ejecución, son trabajados a máxima potencia.

Los tiempos peak de trabajo, en los cuales todos los vehículos, incluyendo la bomba de hormigón, aumentan su frecuencia de operación, corresponde a la actividad de proyección de shotcrete.

4. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO.

Para determinar las concentraciones ambientales de Material Particulado Diésel (DPM), a que están expuestos los trabajadores, profesionales de la Sección Riesgos Químicos, del Departamento Salud Ocupacional, del Instituto de Salud Pública de Chile, con la colaboración y transferencia tecnológica del Instituto Nacional de Silicosis de España, tomaron muestras de aire, todas de tipo personal, de acuerdo a lo establecido en el "Manual Básico sobre Mediciones y Toma de Muestras Ambientales y Biológicas en Salud Ocupacional, 2013".

Se tomó un total de dieciséis muestras de aire y todas cubrieron más del 70% de la Jornada de trabajo. El tren de muestreo utilizado en la evaluación estaba conformado por una bomba de muestreo portátil, una manguera de conexión y como cabezal de muestreo un portafiltro de tres cuerpos, debidamente adaptado, que contiene una membrana de fibra de cuarzo de 37mm de diámetro. Los caudales de muestreo fluctuaron entre 1,916 l/min y 2,053 l/min, asimismo los volúmenes de muestreo fueron de entre 915,60 litros y 1112,72 litros.

Todas las muestras tomadas fueron analizadas por el Laboratorio del Departamento Técnico del Instituto Nacional de Silicosis de España, utilizando la técnica analítica del Método de Medida del Protocolo EUSA-RR2 (European Supersites for Atmospheric Aerosol Research). En caso de existir un contenido en carbono elemental muy elevado, se aplica un método basado en el NIOSH 930.

5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

En la tabla 5-1 se presentan las Concentraciones Promedio Ponderada de Carbono Orgánico (CO), Carbono Elemental (CE), Carbono de Carbonato (CC) y Carbono Total (CT).

Tabla 5-1.

Muestra, Fecha, Puesto de Trabajo Evaluado, Concentración Promedio Ponderada de Carbono Orgánico (CO), Carbono Elemental (CE), Carbono de Carbonato (CC) y Carbono Total (CT).

Muestra	Fecha	Puesto de Trabajo Evaluado	Concentración Promedio Ponderada (mg/m ³)			
			Carbono Orgánico	Carbono Elemental	Carbono Carbonatado	Carbono Total (CO+CE+CC)
C-02	07-07-2015	Maestro Mayor	0,001	0,000	0,000	0,001
C-04	07-07-2015	Jefe Patio	0,176	0,032	0,021	0,230
C-05	07-07-2015	Capataz	0,309	0,108	0,074	0,491
C-06	07-07-2015	Supervisor	0,315	0,182	0,050	0,547
C-07	07-07-2015	Operador Bomba	0,530	0,267	0,116	0,913
C-08	07-07-2015	Maestro Mayor	0,350	0,114	0,066	0,530
C-09	07-07-2015	Operador Cargador Frontal (*)	0,317	0,042	0,032	0,391
C-10	08-07-2015	Operador Bomba	0,439	0,160	0,094	0,693
C-11	08-07-2015	Maestro Mayor	0,000	0,000	0,000	0,000
C-12	08-07-2015	Operador Excavadora (**)	0,320	0,107	0,042	0,469
C-13	08-07-2015	Maestro mayor	0,254	0,156	0,037	0,447
C-14	08-07-2015	Operador Cargador Frontal (*)	0,439	0,114	0,067	0,620
C-15	08-07-2015	Jefe de Patio	0,208	0,073	0,024	0,304
C-16	08-07-2015	Supervisor	0,194	0,067	0,040	0,301
C-18	08-07-2015	Maestro	0,390	0,093	0,057	0,540
C-19	08-07-2015	Operador Excavadora (**)	0,169	0,079	0,022	0,269

OBS.: (*) Con cabina cerrada.

(**) Con cabina abierta.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- a) Se evaluó un total de 16 trabajadores de diferentes puestos de trabajo, siendo todas las muestras representativas y de tipo personal.
- b) En cada una de las muestras se determinó Carbono Elemental (EC), Carbono Orgánico (OC) y Carbono de Carbonato (CC), a modo de obtener Carbono Total (TC).
- c) Como valor de referencia se consideró utilizar los límites de exposición de Switzerland, Tunnelling para Carbono Total, y de Germany, Tunnelling para Carbono Elemental, debido que son valores específicos para trabajos en túneles.
- d) De las 16 muestras tomadas, en 8 (50%) de ellas se superó el límite de exposición establecido para el Carbono Elemental (EC), por la Germany, Tunnelling de 0,10 mg/m³.
- e) Al comparar el valor de referencia establecido por Switzerland, Tunnelling, para la Concentración Ponderada de Carbono Total de 0,20 mg/m³, se observa que 14 de las 16 muestras (87,5%), se encuentran sobre este límite de exposición.
- f) Se tomaron muestras a trabajadores que operaban vehículos de carga pesada con cabina cerrada (operador cargador frontal) y con cabina abierta (excavadora); en ambos casos las concentraciones encontradas son similares y todas se encuentran por sobre el límite de exposición de Carbono Total (TC) de la Switzerland, Tunnelling.
- g) En el proceso de combustión de diésel, se pueden producir una variedad de gases tóxicos (CO, CO₂, NO_x, otros), especialmente en faenas subterránea. Esto pone de manifiesto la necesidad de evaluar en forma específica las concentraciones de estos agentes, fundamentalmente en zonas de confluencia de maquinaria de combustión diésel.
- h) Es recomendable que los vehículos de carga pesada cuenten con cabinas herméticas de presión positiva y con aire acondicionado y suministro de aire filtrado (con filtros de alta eficiencia), para impedir la exposición del operador al Material Particulado Diésel.
- i) Es recomendable que los motores de combustión de los equipos y maquinarias cuenten con la máxima tecnología de control de emisiones.
- j) Considerando que en Chile no existe, para los lugares de trabajo, un límite de exposición para ninguno de los tipos de carbono contenidos en el Material Particulado Diésel, es necesario incorporar un límite específico al respecto, debido al número significativo de trabajadores que se desempeña en obras y faenas subterráneas en el país, donde están presentes equipos y vehículos que utilizan diésel como combustible.

7. BIBLIOGRAFÍA.

- Instituto de Salud Pública de Chile. “Manual Básico Sobre Mediciones y Toma de Muestras Ambientales y Biológicas en Salud Ocupacional”, 2013.
- Instituto Nacional de Silicosis de España. Evaluación Mediante Muestreo y Análisis del Riesgo por Exposición a Humos de Escape Diésel, 2014.
- Noll, J. D., Bugarski, A. D., Patts, L. D., Mischler, S. E. and McWilliams L. The Relationship between Elemental Carbon, Total Carbon, and Diesel Particulate Matter in Several Underground Metal/Non-metal Mines. 2005.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España. Seguridad y Salud en el Trabajo. Motores Diésel. “Emisión de aerosoles de Partículas y Gases” N° 82, 2013.
- Grenier, M., Gangal, M., Goyer, N., McGinn, S., Penney, J., Vergunst, J. “Sampling for Diesel Particulate Matter in Mines”. Report of Investigation submitted to the Diesel Emissions Evaluation Program (DEEP) Technical Committee. October 2001.
- National Institute for Occupational Safety and Health. Diesel Aerosols and Gases in Underground Mines: Guide to Exposure Assessment and Control. Report of Investigations 9687. 2011.