

## **Evaluación y propuesta de medidas de control a la exposición de ruido en operadores de camiones de extracción minera. Parte I: evaluación de dosis y levantamiento de datos**

C. Kuskinen<sup>a</sup>, P. Priede<sup>b</sup> & C. Muñoz<sup>b</sup>.

<sup>a</sup> COFAMA S.A, Silentium - Ingeniería del Silencio, José Ananías 207-A, Macul, Chile.

[ckuskinen@silentium.cl](mailto:ckuskinen@silentium.cl)

<sup>b</sup> Gerard Ingeniería Acústica SpA, Villaseca 21, oficina 1105, Ñuñoa, Chile. [cmunoz@controlacustico.cl](mailto:cmunoz@controlacustico.cl)

### **RESUMEN**

El Gobierno de Chile durante el año 2011 publica el Protocolo de Exposición Ocupacional a Ruido (PREXOR). Este documento entrega las directrices tanto para la elaboración, aplicación y control de los programas de vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos al agente ruido. Dentro de la vigilancia, establece el criterio de acción para evaluar los resultados de las dosis de ruido medidas, así como también se indican las formas de abordar las medidas de control.

Los operadores de camiones de extracción minera forman parte de los trabajadores expuestos a ruido, vulnerables a contraer hipoacusia laboral. En una primera parte del trabajo, se realizan mediciones de dosis de ruido para cuantificar los niveles de exposición. Por otro lado se confeccionan y adaptan metodologías de levantamiento de datos con la finalidad de dar valoración al medio de transmisión de las ondas sonoras, donde se destacan análisis de ruido aéreo y vibraciones, con la finalidad de cuantificar su real aporte en la exposición del operador.

Con esta información se da paso a una segunda etapa del proyecto, donde se alimenta un modelo matemático basado en elementos finitos y se diseñan medidas de control a la exposición sonora.

**KEYWORDS:** Control de Ruido, PREXOR, Higiene Ocupacional, Exposición de ruido, Programas de vigilancia.

## 1 INTRODUCCIÓN

La gran industria extractiva minera presenta dentro de sus diferentes puestos de trabajo, a los operadores de camión de extracción (CEX), los cuales se encuentra bajo altos niveles de exposición a ruido, los que sobrepasan los límites permitidos durante la jornada efectiva.

Las altas dosis de ruido absorbidas se presentan como un problema a solucionar, por lo cual, el siguiente estudio exhibe las evaluaciones de dosis a las que están afectos los operadores durante la jornada de trabajo, las cuales fueron obtenidas en dos marcas y cuatro modelos de camión utilizados en la gran industria extractiva minera del país.

El problema se centra en realizar un levantamiento acústico en terreno y definir las metodologías para verificar las actuales condiciones de los 4 tipos de camiones de extracción en estudio, esto mediante la caracterización de la Exposición Ocupacional a Ruido de acuerdo al D.S. N° 594/99 del MINSAL. Además de realizar la evaluación y análisis de las fuentes de ruido y las condiciones acústicas que poseen las cabinas de los camiones de extracción.

Para ello se deberán adaptar metodologías de medición, con las que se deberá caracterizar las 4 fuentes de ruido principal, donde la que presenta el mayor nivel de importancia es el motor del camión, el cual establece el nivel base de las dosis y por otro lado las 3 fuentes de ruido interno las que corresponden a la radio de operaciones interna, por donde se transmiten todos los mensajes operacionales mina, la radio comercial y las alarmas de somnolencia, las que se presentan como medidas de seguridad que alertan al trabajador al momento de encontrarse bajo cansancio durante las horas de trabajo.

## 2 NORMATIVAS Y METODOLOGÍAS DE REFERENCIA

### 2.1 D.S. N° 594/99 del Ministerio de Salud (MINSAL) [1]

Esta normativa establece las condiciones sanitarias y ambientales básicas que deberá cumplir todo lugar de trabajo. Además indica valores límites de exposición ambiental a agentes químicos, físicos y de tolerancia biológica para trabajadores expuestos a riesgo ocupacional.

En su Título IV, Párrafo 3°, se entregan las directrices para la evaluación de ruido en los puestos de trabajo. Se determinan Tipos de Ruido (Estable, Fluctuante e Impulsivo), estándares de instrumental de medición, descriptores a utilizar y criterio de evaluación.

Esta normativa establece que la exposición ocupacional a ruido estable o fluctuante deberá ser controlada de modo que para una jornada de 8 horas diarias ningún trabajador podrá estar expuesto a un nivel de presión sonora continuo equivalente superior a 85 dB(A) lento, medidos en la posición del oído del trabajador. Los niveles de presión sonora continua equivalentes, diferentes a 85 dB(A) lento, se permitirán siempre que el tiempo de exposición a ruido del trabajador no exceda los tiempos máximos permitidos indicados en la norma.

### 2.2 Protocolo de Exposición Ocupacional a Ruido (PREXOR)

El Protocolo de Exposición Ocupacional a Ruido [2], tiene como alcance técnico el entregar directrices para la elaboración, aplicación y control de los programas de la vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos al ruido y los ambientes de trabajo, para aumentar la

población bajo control y mejorar la eficiencia y oportunidad de las medidas de control en los lugares de trabajo.

Además establece la realización de un programa de vigilancia en un entorno de trabajo ruidoso, el cual se debe fundar explícitamente en la prevención del efecto de daño sobre la audición, incluyendo para tal fin el monitoreo ambiental del lugar de trabajo en particular, junto con un monitoreo de la salud auditiva de los trabajadores de manera de implementar medidas preventivas y correctivas a partir de sus resultados.

Los resultados obtenidos en la evaluación inicial de la exposición ocupacional a ruido, deben ser comparados con los siguientes criterios de acción, según corresponda:

- a) Dosis de Acción 0,5 o 50%: Este valor corresponde a la mitad de la dosis de ruido máxima permitida por la normativa legal vigente.
- b) Nivel de Acción 82 dB(A): Este valor es equivalente a una Dosis de Ruido de 0,5 o 50%, para un tiempo efectivo de exposición diario de 8 horas.

Para aquellos casos donde se determine la existencia de ruido impulsivo, el Nivel de Acción será de 135 dB(C) Peak.

### 2.3 Índice de Reducción Sonora ( $R_w$ )

Es la décima parte del logaritmo decimal entre la división de la potencia sonora incidente ( $W_1$ ) y la potencia sonora transmitida ( $W_2$ ), la magnitud se expresa en decibelios y con la siguiente expresión.

$$R_w = 10 \cdot \text{Log} \left( \frac{W_1}{W_2} \right) \quad (1)$$

Para la obtención del Índice de Reducción Sonora ( $R_w$ ) [3] se utiliza el procedimiento de valoración del índice único mencionado en la norma ISO 717-1 [4] la cual desplaza la curva de referencia en saltos de 1 dB hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero no mayor que 32 dB. El valor del Índice de Reducción de Reducción Sonora es el valor a 500 Hz, después del desplazamiento de la curva medida.

### 2.4 Instrumental Utilizado

Para el levantamiento de datos se utilizaron dosímetros personales, sonómetros integradores con módulo de 1/3 de octava y una interfaz de vibraciones con capacidad de obtener datos simultáneos con 2 acelerómetros tri-axiales. Los equipos utilizados se caracterizan en la siguiente tabla:

Tabla 1: Equipos utilizados en terreno para el levantamiento de datos

Función	Marca	Modelo	accesorios		
			Función	Marca	Modelo
Medición de dosis	Cirrus Research Plc	110AIS	Dosímetros	DoseBadge	YD706
				DoseBadge	YD708
				DoseBadge	YD709

<b>Medición de ruido aéreo</b>	Rion Svantek	NL-52 948	Calibrador Calibrador	Rion Svantek	NC-74 Sv-30A
<b>Medición de Vibraciones</b>	Soft dB Lenovo	Alto 6 Ch G480	Acelerómetros	PCB Piezotronics	356A16

### 3 DEFINICIÓN DE METODOLOGÍAS

Al encontrarse ante un problema desafiante, como el que se genera en las cabinas de camiones de extracción minera, se ve la necesidad de realizar un levantamiento acabado de datos que permita en una primera instancia, evaluar la normativa relevante, pero además, determinar las características acústicas del medio de transmisión y las fuentes de ruido que afectan a la dosis de los trabajadores.

De este modo se adaptaron procedimientos y metodologías que permitan estimar el comportamiento acústico-estructural actual de las distintas configuraciones constructivas de los 4 modelos de camión en estudio, los cuales fueron 3 camiones marca Caterpillar modelos 793F, 797B, 797F y un camión marca Komatsu modelo 960.

#### 3.1 Dosimetrías Controladas y No Controladas

*Dosimetrías Controladas:* Este procedimiento consiste en evaluar la dosis de la operación normal en el puesto del trabajador durante 11 [hrs] de operación, dejando un registro de todos los eventos relevantes que participan en la dosis, de manera tal de identificar el aporte energético de cada uno de los eventos detectados durante la jornada laboral.

*Dosimetrías No Controladas:* Se efectuaron mediciones de dosis con condiciones de ruido no controladas permitiendo que los operadores realicen sus labores normales, donde el trabajador establezca los parámetros de funcionamiento de las fuentes internas presentes al interior de la cabina.

#### 3.2 Medición de Ruido Aéreo

*Método Retícula:* Consistió en la instalación de una fuente de ruido omnidireccional al interior de la cabina, en el centro, de manera tal de medir el nivel de ruido transmitido al exterior. De este modo se obtiene el nivel de ruido en cada una de las zonas definidas con una retícula de 30x30 [cm].

Para la obtención de los gráficos de ruido, los cuales demuestran las deficiencias de las diferentes configuraciones constructivas de las cabinas de los camiones, se utilizó un método de interpolación de datos, con el cual se obtienen los mapas de ruido de las fugas y del ruido transmitido a través de los muros.

*Método Screening:* Con la finalidad de obtener la Pérdida de Transmisión (TL, Transmission Loss)[5] de cada una de las caras de la cabina, se efectuó un barrido al interior y exterior de las configuraciones constructivas con la fuente natural de operación (Motor), con ello se obtiene el nivel de presión sonora incidente y el transmitido con el cual se obtendrá el Índice de Reducción Sonora (Rw). De este modo se podrá establecer comparaciones entre una y otra cabina, así como también, el antes y después de implementación de medidas de mitigación.

### 3.3 Transmisión Estructural de Ruido – Vibraciones

Se obtuvo una correlación del nivel de ruido captado al interior de la cabina con un el nivel de vibraciones captado en la base de esta, teniendo como finalidad cuantificar el ruido radiado estructuralmente hacia el interior de la cabina.

A partir de lo anterior, se estima la eficiencia de los soportes elastómeros instalados en los puntos de anclaje de cada cabina, disponiendo de los registros de aceleración de vibraciones en [m/s<sup>2</sup> RMS] antes y después de cada soporte. De este modo se procede al cálculo de la eficiencia  $E_c(f)$  en el dominio de la frecuencia y expresada porcentualmente, para lo cual se empleó la siguiente ecuación [6].

$$E_c(f) = (1 - T_f) \times 100 \% \quad (2)$$

Donde:

$E_c(f)$  : Eficiencia del soporte; y,  
 $T_f$  : Transmisibilidad para sistemas simples amortiguados.

## 4 ANALISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Valores de Dosimetrías Controladas y No Controladas

A continuación se presentan los valores y la evaluación de las dosis realizadas en los 4 modelos de camiones seleccionados, con procedimiento de medición de dosis controladas..

En aquellos casos donde el tiempo diario efectivo de exposición ocupacional a ruido sea distinto a 8 horas, el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente en dB(A), obtenido de la evaluación de la exposición ocupacional a ruido en el puesto de trabajo ( $NPS_{eq}$ ), se deberá normalizar a 8 [hrs] de acuerdo a lo establecido en la siguiente ecuación:

$$NPS_{eq\ 8h} = NPS_{eq} + 10 \cdot \text{Log} \left( \frac{T_e}{8} \right) \quad (3)$$

Donde:

$NPS_{eq\ 8h}$  : Nivel de exposición normalizado a 8 horas.  
 $NPS_{eq}$  : Nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A obtenido de la de la exposición ocupacional a ruido en el puesto de trabajo.  
 $T_e$  : Tiempo diario efectivo de exposición al  $NPS_{eq}$ , en horas.

Tabla 2: Evaluación de dosis con monitoreo de parámetros de funcionamiento controlados.

Modelo de camión	Nivel de Exposición normalizado 8 [hrs] en [dB(A)]	Nivel de Acción en 8 [hrs] en [dB(A)]	Nivel Máximo permitido para 8 [hrs] [dB(A)]	Evaluación
Cat 793F	78.6	82	85	No Supera NA
Cat 797B	74.5	82	85	No Supera NA
Cat 797F	78.3	82	85	No Supera NA
K960e	79.2	82	85	No Supera NA

Los valores obtenidos con el procedimiento de medición de dosis no controladas realizadas a los 4 modelos de camiones en evaluación son los siguientes.

Tabla 3: *Evaluación de dosis con parámetros no controlados de funcionamiento.*

Modelo de camión	Nivel de Exposición normalizado a 8 [hrs] en [dB(A)]	Nivel de Acción en 8 [hrs] en [dB(A)]	Nivel Máximo permitido para 8 [hrs] [dB(A)]	Evaluación
CAT 793F	83.5	82	85	Supera NA
CAT 793F	88.6	82	85	Excede Máximo
CAT 793F	86.8	82	85	Excede Máximo
CAT 797B	91.9	82	85	Excede Máximo
CAT 797B	85.0	82	85	Excede Máximo
CAT 797B	82.3	82	85	Supera NA
CAT 797F	82.1	82	85	Supera NA
CAT 797F	81.7	82	85	No Supera NA
CAT 797F	85.2	82	85	Excede Máximo
K 960	86.7	82	85	Excede Máximo
K 960	87.9	82	85	Excede Máximo
K 960	84.3	82	85	Supera NA

De los valores presentados se logra deducir que al establecer los parámetros de funcionamiento controlado (Tabla 2) los niveles están debajo del nivel de acción, contrapuesto a lo que sucede cuando los operadores manejan los parámetros de funcionamiento de las fuentes internas. De este modo los niveles de monitoreo controlado se presentan como ruido de fondo al interior de las cabinas.

#### 4.2 Valores de Aislamiento de Ruido Aéreo

A continuación se presentan los mapas de ruido obtenidos de las mediciones de ruido aéreo con método de retícula, donde la fuente emisora es una fuente omnidireccional al interior de la cabina.

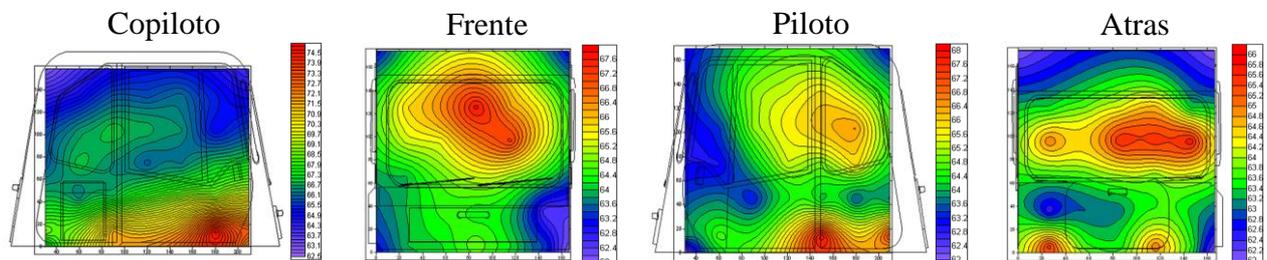


Figura 1: *Mapas de las deficiencias de ruido aéreo obtenidas en el camión Caterpillar modelo 793F, en cada una de las caras de la cabina.*

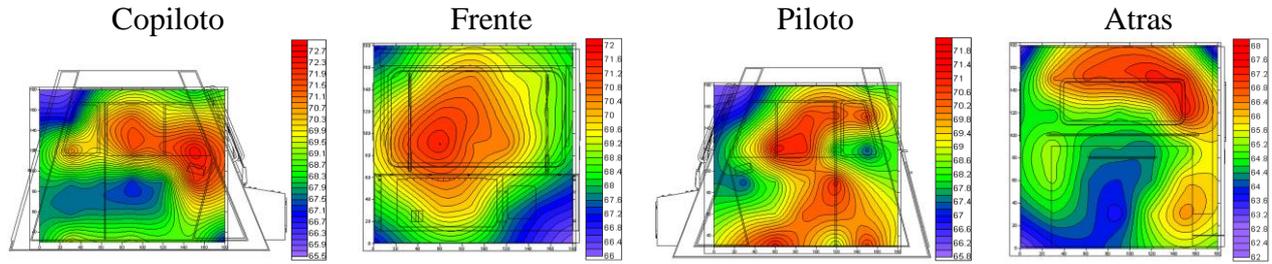


Figura 2: Mapas de las deficiencias de ruido aéreo obtenidas en el camión Caterpillar modelo 797B, en cada una de las caras de la cabina.

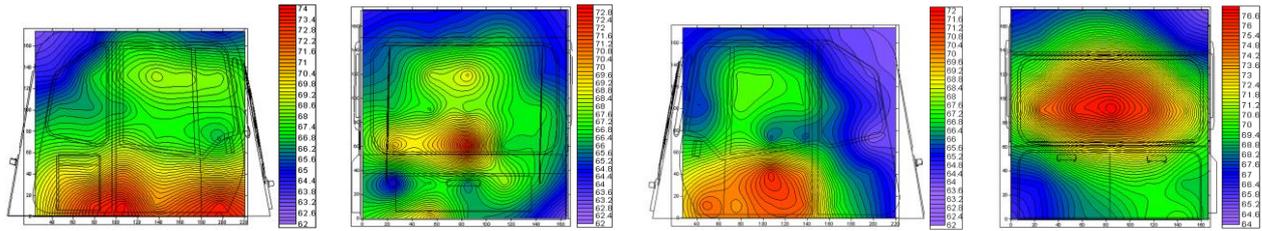


Figura 3: Mapas de las deficiencias de ruido aéreo obtenidas en el camión Caterpillar modelo 797F, en cada una de las caras de la cabina.

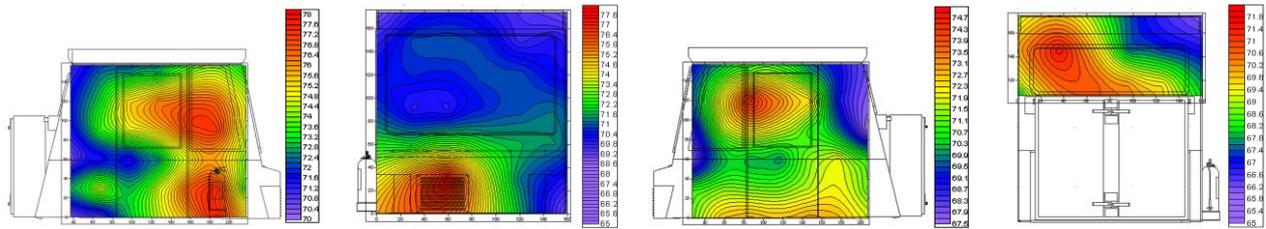


Figura 4: Mapas de las deficiencias de ruido aéreo obtenidas en el camión Komatsu modelo 960, en cada una de las caras de la cabina.

Con los mapas antes expuestos se puede apreciar de forma gráfica las áreas donde hay mayor nivel de transmisibilidad de ruido, desde el interior hacia el exterior de la estructura. Las deficiencias tienen un patrón común de funcionamiento y estas se aprecian principalmente en vidrios, ventilaciones y marcos de puerta.

Para la obtención de un parámetro único comparativo, se realizó un mapeo al interior y exterior de la cabina, con la fuente natural de los camiones en ralentí y a 2000 rpm, de este modo se obtiene el Coeficiente de Transmisión (TL) y posteriormente el Índice de Reducción Sonora (Rw), los datos se presentan a continuación.

Tabla 4: Índice de reducción sonora en ralentí y a 2000 rpm en todas las caras de la cabina.

Modelo de camión	Índice de Reducción Sonora (Rw)							
	Motor en Ralentí				Motor a 2000 [rpm]			
	Fachada Copiloto	Fachada frontal	Fachada Piloto	Fachada posterior	Fachada Copiloto	Fachada frontal	Fachada Piloto	Fachada posterior
CAT793F	29	26	24	25	23	20	23	26
CAT797B	26	20	26	34	29	23	29	36
CAT797F	26	23	25	27	27	24	28	30
K 960	27	24	26	30	30	27	27	33

### 4.3 Transmisión Estructural de Ruido – Vibraciones

Para evaluar la eficiencia de los soportes de la cabina, se obtuvieron los registros espectrales de aceleración entre 1 [Hz] y 1 [KHz], posicionando los acelerómetros sobre y debajo de los puntos de conexión de la cabina, con lo cual se procedió al cálculo de la eficiencia en el dominio de la frecuencia. Los valores fueron obtenidos a 2000 [rpm] del motor, situación que se presenta como la peor condición de transmisión de vibraciones desde el chasis hacia el interior de la cabina

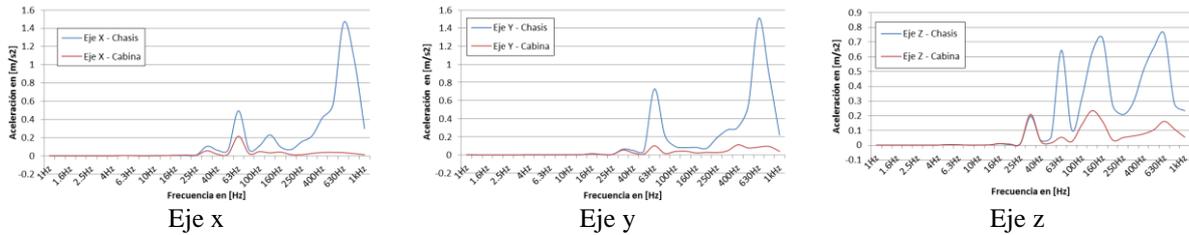


Gráfico 1: Valores de efectividad de aislamiento de vibraciones. Aceleración por banda de frecuencia obtenida en los tres ejes de coordenadas, camión a 2000 [rpm] - CAT 793F

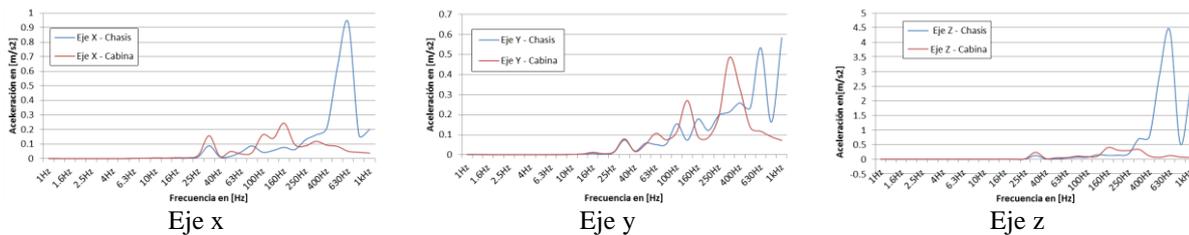


Gráfico 2: Valores de efectividad de aislamiento de vibraciones. Aceleración por banda de frecuencia obtenida en los tres ejes de coordenadas, camión a 2000 [rpm] - CAT 797B

Sin Datos en Eje X

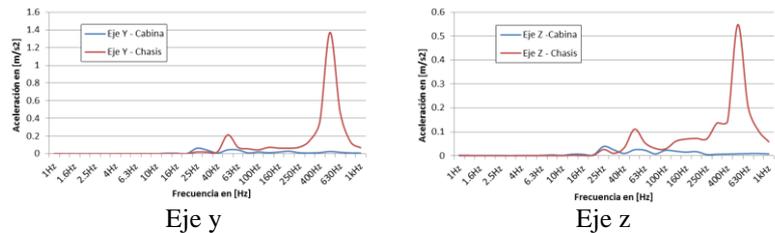


Gráfico 3: Valores de efectividad de aislamiento de vibraciones. Aceleración por banda de frecuencia obtenida en los tres ejes de coordenadas, camión a 2000 [rpm] - CAT 797F

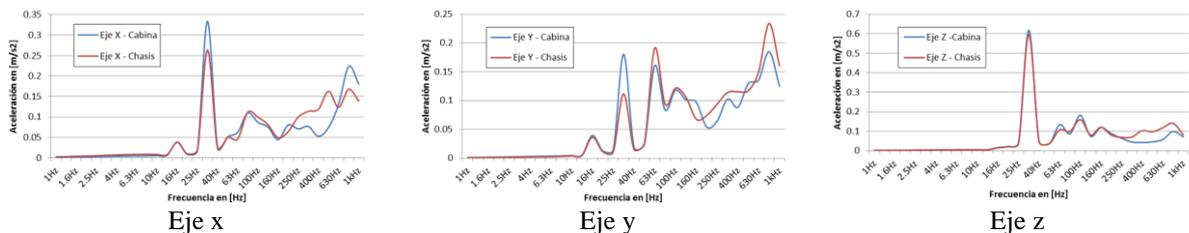


Gráfico 4: Valores de efectividad de aislamiento de vibraciones. Aceleración por banda de frecuencia obtenida en los tres ejes de coordenadas, camión a 2000 [rpm] - Komatsu 960.

Con los datos de aceleración obtenidos se logra cuantificar la efectividad de los soportes elastómeros que intentan desacoplar las cabinas de los camiones con el chasis, los cuales arrojan que no existe aislamiento vibratorio bajo los 250 Hz.

Este procedimiento se realizó comparando gráficamente el Nivel de Aceleración ( $L_a$ ) con una medición de ruido en la misma condición de operación, ambas al interior de la cabina. Este análisis se efectuó entre los espectro de frecuencias de 12.5 [Hz] hasta 1 [KHz]. La condición de operación se estableció a las 2000 [rpm] ya que esta presenta el peor escenario de transmisión (máxima potencia del motor en funcionamiento).

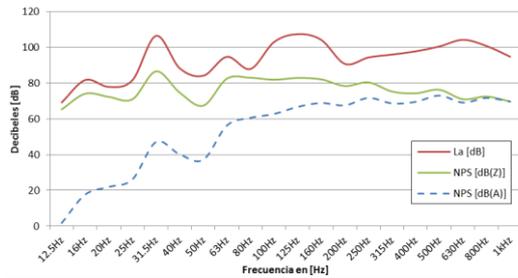


Gráfico 5: Correlación de Ruido y vibraciones en frecuencia, Caterpillar 793F.

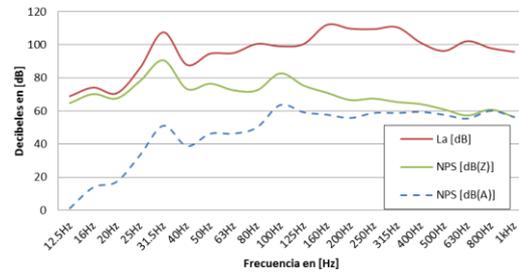


Gráfico 6: Correlación de Ruido y vibraciones en frecuencia, Caterpillar 797B.

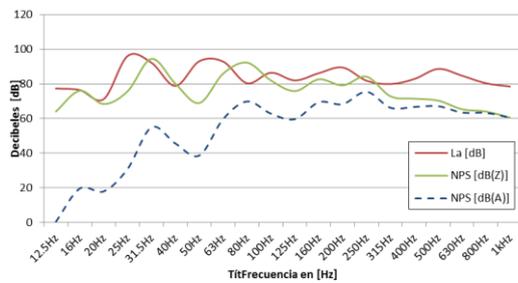


Gráfico 7: Correlación de Ruido y vibraciones en frecuencia, Caterpillar 797F.

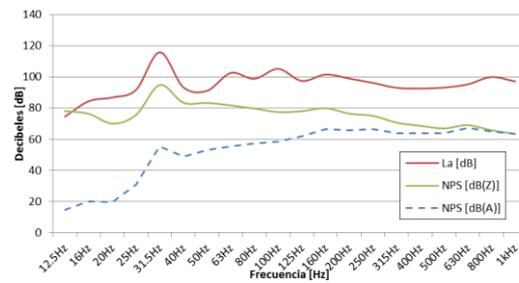


Gráfico 8: Correlación de Ruido y vibraciones en frecuencia, Komatsu 960.

En los gráficos antes presentados, se expone una correlación entre los niveles de aceleración con los valores de ruido obtenidos al interior de las cabinas. De estos gráficos se logra extraer que los niveles concuerdan en el espectro de frecuencia analizado, por lo que se puede deducir que existe un leve aporte estructural de ruido hacia el interior de la cabina.

Se observa que el aporte energético en la frecuencia de 31.5 [Hz] y su primer armónico par aporta energía que se transmite hacia el interior y por ende afecta a las dosis percibidas por los operadores.

## 5 CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Se efectuó un completo análisis de los datos obtenidos bajo las distintas metodologías adaptadas para la situación, los cuales fueron efectuados en 4 camiones de extracción minera, 3 marca Caterpillar modelo 793F, 797B y 797F, además de un camión marca Komatsu modelo 960. Con los cuales se logró cuantificar las dosis absorbidas por los trabajadores que operan los camiones mineros, en distintas condiciones de funcionamiento, además de las condiciones que permiten la transmisión aérea y estructural de ruido.

De los análisis se establece que el funcionamiento del motor, operación del camión y la radio de comunicaciones interna en su menor nivel de operación representan el nivel basal de ruido al interior de la cabina el cual tiene un  $NPS_{eq}$  de 78 [dB], a esto se le deben sumar otras fuentes presentes que son manipulables por el operador las cuales son la radio comercial y las

alarmas de somnolencia y en su funcionamiento generan aportes energéticos que elevan los niveles de dosis absorbidas por los operadores.

De este modo se establece como problema a solucionar, reducir el nivel basal de ruido, el cual es principalmente transmitido desde el exterior de las cabinas, esto para dar un mayor rango de funcionamiento a las fuentes restantes que elevan los niveles de ruido, principalmente las que se encuentran en el campo cercano del operador. Para ello se realizaron análisis de los componentes estructurales y la aislación de ruido aéreo y estructural de las configuraciones constructivas de las cabinas.

En el análisis de ruido aéreo, se visualiza con el levantamiento de datos con el método de retícula se logró visualizar las deficiencias de las cabinas en términos del aislamiento acústico, sin embargo este método no es el óptimo para cuantificar el aislamiento acústico en términos del  $R_w$ , debido, a que las dificultades de instalación de la fuente omni-direccional no permiten establecer un patrón de distancia homogéneo con el que se pueda analizar comparativamente los valores de Pérdida de Transmisión entre las diferentes caras de los elementos evaluados. Por otro lado con el método de Screening se define un método apropiado para evaluar el aislamiento acústico de las distintas fachadas de las cabinas, demostrando que la fachada que posee un menor Índice de Reducción Sonora ( $R_w$ ) en todas las cabinas es la cara frontal.

Desde el punto de vista de transmisión estructural, se logra determinar que los soportes de neopreno, no actúan como aisladores de vibración en frecuencias bajo los 250 Hz, por lo que se hará necesario generar planes de mitigación de vibraciones para eliminar la transmisión de ruido por la estructura bajo dichas frecuencias.

Finalmente se concluye, que las dosis de ruido de los operadores de camiones mineros tienen un comportamiento multifactorial, de tal modo que para disminuir las dosis de ruido se deberá generar planes de mitigación que afecten ingenierilmente las distintas configuraciones constructivas, además establecer barreras duras de control de las fuentes de ruido que se encuentran en campo cercano del operador y generar un plan de reeducación a los operadores estableciendo planes de seguimiento de la salud auditiva, proporcionando información de las intervenciones que se deberán efectuar, con claros lineamientos de los beneficios que posee el cuidado de la salud auditiva y la higiene industrial de agentes físicos en el puesto de trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] D.S 594/99 del Ministerio de Salud - Aprueba Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias Y Ambientales Básicas en los Lugares De Trabajo (2000)
- [2] Protocolo Sobre Normas Mínimas Para El Desarrollo De Programas De Vigilancia De La Pérdida Auditiva Por Exposición A Ruido En Los Lugares De Trabajo (2011)
- [3] ISO 140 Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms (1998)
- [4] ISO 717 Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements -Part 1: Airborne sound insulation (1996)
- [5] Bies D.A & Hansen C.H, Engineering Noise Control: Theory and Practice, Fourth Edition (2009)
- [6] Lamancusa J.S, Noise Control - Vibration Isolation, Penn State (2002)