

**ESTUDIO DEL RUIDO GENERADO POR LA MAQUINARIA DE CONSTRUCCIÓN EN
INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA**

**STUDY OF NOISE GENERATED BY CONSTRUCTION MACHINERY IN URBAN ROAD
INFRASTRUCTURE**

Samuel Huaquisto Cáceres¹ e Isabel Griselda Chambilla Flores²

¹Universidad Nacional del Altiplano Puno, FICA-EPIC, Perú.

²Unidad de Gestión Educativa Local de Puno, Perú.

shuaquisto@unap.edu.pe

(Recibido el 22 de septiembre 2020, aceptado para publicación el 14 de julio 2021)

RESUMEN

El ruido generado durante el proceso constructivo de las infraestructuras viales urbanas es uno de los problemas ambientales que inciden negativamente en la calidad de vida de los trabajadores y de la población aledaña. Este estudio tiene el propósito de analizar los diferentes niveles de presión sonora generados por la maquinaria de construcción en vías urbanas con pavimento rígido. Los niveles de ruido monitoreados han sido realizados al equipo mecánico pesado y liviano en proceso de operación. Los resultados globales indican rangos de niveles de presión sonora que van desde 69.6 dBA a 98.4 dBA, siendo los equipos mecánicos livianos los más influyentes con dosis que exceden el 100%. La etapa más ruidosa es la del corte de concreto en pavimento que presenta un nivel de presión sonora de 89.12 dBA en la tarea con dosis que excede en más del 100%, en las demás tareas no hay excedencia de los valores críticos estipulados para una jornada laboral de 8 horas de trabajo; sin embargo, influyen en la población adyacente debido a que exceden los 60 dBA para zona residencial en horario diurno. En conclusión, el equipo mecánico utilizado en la construcción de vías de concreto emite niveles de presión sonora superiores a los límites permisibles incidiendo en la población y trabajadores, recomendándose el uso de protectores auditivos de un nivel mínimo NRR 19 dB para operadores de equipo mecánico pesado y NRR 35 dB para equipos livianos.

Palabras Clave: Decibel, Maquinaria, Presión Sonora, Ruido, Sonómetro.

ABSTRACT

The noise generated during the construction process of urban road infrastructures is one of the environmental problems that negatively affects the quality of life of workers and the surrounding population. The purpose of this study is to analyze the different levels of sound pressure generated by construction machinery on urban roads with rigid pavement. Monitored noise levels have been made to heavy and light mechanical equipment in operation. The global results indicate ranges of sound pressure levels that go from 69.6 dBA to 98.4 dBA, with light mechanical equipment being the most influential with doses exceeding 100%. The noisiest stage is that of cutting concrete on the pavement, which presents a sound pressure level of 89.12 dBA in the task with a dose that exceeds more than 100%, in the other tasks there is no exceedance of the critical values stipulated for a day 8 hours of work; however, they influence the adjacent population because they exceed 60 dBA for residential areas during daytime hours. In conclusion, the mechanical equipment used in the construction of concrete roads emits sound pressure levels higher than the permissible limits, affecting the population and workers, recommending the use of hearing protectors with a minimum level of NRR 19 dB for operators of heavy mechanical equipment and NRR 35 dB for light equipment.

Keywords: Decibel, Machinery, Sound Pressure, Noise, Sound Level Meter.

1. INTRODUCCIÓN

Hace 2500 años ya había indicios de sordera sobre personas que vivían cerca de las cataratas del río Nilo debido a que permanecían cerca de la fuente de ruido producido por la cascada. Durante la Revolución Industrial (siglo XVIII), la generación del ruido se ha intensificado con la creación y utilización de grandes máquinas y vehículos en la producción de bienes y servicios [1]. Hoy en día, el ruido se está convirtiendo en uno de los principales contaminantes acústicos de la sociedad moderna, causado principalmente por el tráfico vehicular, las actividades de construcción y recreativas [2], incidiendo directamente sobre el bienestar del entorno donde se genera.

En el caso específico de las actividades de construcción en vías urbanas, es común el uso de equipos mecánicos los cuales generan ruido en el proceso de operación, no implementándose en muchos casos medidas de mitigación adecuadas. El ruido emitido por la maquinaria de construcción es el contaminante más barato de producir y necesita muy poca energía para ser emitido [3], no deja rastro físico como otros contaminantes pero sí afecta negativamente a la calidad de vida de la población que conviven en ese entorno. La población y trabajadores a largo plazo experimentan

daños irreparables para la salud si persiste el ambiente ruidoso; por lo que es necesario considerar alternativas de solución para mitigar la contaminación acústica, tal es el caso del uso de protectores auditivos adecuados para los trabajadores y la aplicación de barreras acústicas hacia poblaciones influenciadas durante el proceso constructivo de vías urbanas.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 La contaminación acústica, sonido y ruido

La contaminación acústica es cualquier cambio en las propiedades físicas del medio ambiente causado por los sonidos de conjugación, deseables o no, que son directa o indirectamente perjudiciales para la salud, la seguridad y el bienestar de los seres vivos. El sonido es una perturbación que se propaga a través de un medio elástico (aire, agua, etc.) a una velocidad característica de ese medio, sin embargo, el ruido puede definirse como un sonido desagradable, un sonido que molesta a las personas [1]. Por lo que, la catalogación de un sonido concreto como ruido recae, en cierto modo, en la subjetividad individual del sujeto receptor, el mismo sonido puede significar algo agradable, indiferente o insoportable, incluso para el mismo individuo [4].

Así el ruido es definido como un sonido no agradable que origina sensaciones molestas e interfiere con la actividad humana [5] y son las formas de energía potencialmente nocivas en el ambiente [6]. En el caso del sonido, el contaminante no es una sustancia química sino el fenómeno físico caracterizado por la amplitud, frecuencia y patrón temporal [7]. El exceso de ruido producido por múltiples fuentes emisoras durante el desarrollo de las actividades cotidianas ha dado lugar a este tipo de contaminante ambiental caracterizado por no ser tangible, pero que se percibe por el sentido del oído. Esta contaminación auditiva, afecta el ambiente y el paisaje sonoro de ciudades, paradójicamente de forma discreta, pero con importantes repercusiones en la salud y calidad de vida de las personas [8]. Algunas de las fuentes de contaminación acústica familiares son: los electrodomésticos en el hogar, como mezcladoras, molinos, aspiradoras, lavadoras, etc., juntos producen un sonido acumulativo de aproximadamente 87 dB, además, uso de altavoces, televisores y sistemas de música con altos volúmenes. Las fábricas que usan máquinas de una o varias unidades causarían un sonido de aproximadamente 98 dB y más. Los aviones causan el sonido más alto entre todos de 150 dB. Pero los vehículos de carretera también son grandes contribuyentes de la contaminación acústica. Estos vehículos incluyen camiones, autobuses, tractores e incluso motocicletas y la mayoría de los automóviles [9].

2.2 Influencia del ruido en la población

Son conocidas las consecuencias que acarrea para la salud física y mental de la población exponerse al ruido, los cuales pueden ser: Efectos auditivos, como interferencia en la comunicación oral, desplazamiento temporal o permanente del umbral de audición y en casos extremos, sordera; efectos no auditivos, que se agrupan en: efectos físicos como aumento de la presión arterial, taquicardia, jaquecas, durante la exposición prolongada a más de 85 dB se han observado síntomas como gastritis, colitis, aumento de la glucemia y la colesterolemia, efectos sobre los niños como recibir educación en un ambiente ruidoso dispersa la atención, retarda el aprendizaje, la comunicación oral y la habilidad para la lectura, en casos extremos se observa aislamiento y poca sociabilidad en los niños [7], efectos psicológicos, alteración del sueño, estrés, baja concentración y disminución del desempeño laboral y físico; asimismo, nerviosismo, fatiga e inestabilidad emocional [8]. En el caso de mujeres expuestas a la contaminación ambiental acústica tienen riesgo de preeclampsia, por tanto las mujeres que viven en vecindarios ruidosos deben minimizar su exposición al ruido extremadamente alto durante el embarazo [10].

La exposición al ruido en el trabajo ocasiona disminuciones de sensibilidad auditiva, por ejemplo, aproximadamente el 15% de los individuos expuestos a 90 dB por 8 horas diarias en 40 años de trabajo experimentarán pérdida auditiva importante [6]; sin embargo, también puede aumentar el estrés y multiplicar un riesgo de sufrir un accidente laboral. Los efectos no auditivos a más de 60 dB, pueden provocar dilatación de las pupilas y parpadeo acelerado, agitación respiratoria, aceleración del pulso y taquicardias, aumento de la presión arterial, dolor de cabeza y menor irrigación sanguínea con músculos tensos y dolorosos, sobre todo los del cuello y espalda. Efectos no auditivos a más de 80 dB causan disminución de la secreción gástrica, gastritis o colitis, aumento del colesterol y de los triglicéridos con el consiguiente riesgo cardiovascular y aumento de glucosa en la sangre [6]. En general, el ruido ejerce una acción sobre varias de las funciones orgánicas, presentando diversas reacciones. En pruebas de habilidad, se ha demostrado que, con la exposición al ruido continuo, existe disminución del rendimiento y eficiencia, elevando el número de errores, y un probable aumento de accidentes como consecuencia de la reducción de la habilidad [11]. Así, la exposición a los riesgos ocupacionales puede ocasionar pérdida en la calidad y desempeño del trabajador, y determina su comportamiento, su calidad de vida y salud, incluyendo los acontecimientos por enfermedad y accidentes de trabajo [12].

2.3 Niveles de ruido según estándares nacionales e internacionales

En Perú, la legislación vigente establece especificaciones de niveles de ruido mediante los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental refrendado por el Decreto DS 024-2016-EM en el que se establece los niveles de ruido de acuerdo el tiempo de exposición, Tabla 1; además, el DS N° 085-2003-PCM establece los niveles de ruido según zonas y horarios como: de protección, residencial, comercial o industrial según se muestra en la Tabla 2.

TABLA 1 - NIVELES DE RUIDO ESTABLECIDOS POR EL MINEN

| Escala de ponderación "A" | Tiempo de Exposición Máximo en una jornada laboral |
|---------------------------|--|
| 82 decibeles | 16 horas/día |
| 83 decibeles | 12 horas/día |
| 85 decibeles | 8 horas/día |
| 88 decibeles | 4 horas/día |
| 91 decibeles | 1 1/2 horas/día |
| 94 decibeles | 1 hora/día |
| 97 decibeles | 1/2 hora/día |
| 100 decibeles | 1/4 hora / día |

Fuente: Anexo DS 024-2016-EM [13].

TABLA 2 - ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA RUIDO DE LA PCM

| Zonas de aplicación | Valores expresados en $L_{Aeq,T}$ | |
|-----------------------------|-----------------------------------|------------------|
| | Horario diurno | Horario nocturno |
| Zona de protección especial | 50 | 40 |
| Zona residencial | 60 | 50 |
| Zona comercial | 70 | 60 |
| Zona industrial | 80 | 70 |

Fuente: Anexo DS-085-2003-PCM [14].

En temática internacional de niveles de ruido a nivel normativo resaltan instituciones como la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA), el Consejo Internacional de Ruido (INC), el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH), la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) [15]. Las especificaciones indicadas por la OMS se presentan en la Tabla 3, el cual presenta valores de niveles de presión sonora equivalentes y máximos permisibles según ambientes específico, y efectos sobre la salud si se superan dichos límites.

Complementando a las especificaciones indicadas, se precisa que las fábricas que usan máquinas de una o varias unidades causarían un sonido de aproximadamente 98 dB y más, los aviones causan el sonido más alto entre todos: 150 dB. Pero los vehículos de carretera también son grandes contribuyentes de la contaminación acústica. Estos vehículos incluyen camiones, autobuses, tractores e incluso motocicletas y la mayoría de los automóviles [9].

2.4 Ruido generado por el equipo mecánico

El ruido mecánico existe en las industrias a consecuencia del funcionamiento de diversas máquinas, algunas de ellas están dotadas de menos tecnología que producen ruidos excesivos, más allá de lo tolerable [12]. En un estudio sobre análisis de ruido en empresas manufactureras en Nigeria se determinó que las máquinas generadoras de electricidad produjeron el mayor porcentaje de ruido de aproximadamente 26.7%, mientras que los valores obtenidos para compresor de aire, caldera, máquina de prensado y otros fueron de 18.9; 16.7; 16.7 y 21.0%, respectivamente [17]. En el caso de la industria de la construcción, los niveles de ruido dependerán del tipo de obra y del tipo de labor realizada, en una investigación del ruido sobre construcciones modulares, se determinó que el nivel de exposición al ruido de los trabajadores en tres estaciones de trabajo principales es de alrededor 86 dBA, siendo los trabajadores de la estación de revestimiento los que están expuestos al mayor nivel de ruido [18].

Es en el sector construcción que se requiere la consideración de los impactos ambientales y sociales de las operaciones involucradas para ser una industria sostenible junto con los factores económicos tradicionalmente imperativos que afectan el proyecto de construcción. Un factor social y ambiental implícito comúnmente relacionado con la construcción es la contaminación acústica resultante de las actividades que se realizan durante las diversas etapas de construcción [19], para lo cual es necesario tener en cuenta los datos correspondientes como el propuesto en una investigación realizada en Chile en el que se determinan niveles de ruido de equipos que se usan en la construcción, obteniéndose niveles sonoros en dBA emitidos por distintos equipos a 2 m de distancia como: Sonda vibratoria 5 Hp 91.8, trompo mezclador de 5.5 Hp 89.9, sierra circular 1400 w 99.6, placa compactadora 5 Hp 99.8, rodillo

compactador 8 Hp 89.5, motobomba 7.5 Hp 88, martillo neumático y compresor 8 bar 105.5 y generador trifásico 12 Hp 86.6 [20]. Así mismo, en estudios realizados en Chimborazo sobre la aplicación del Método William Fine para la evaluación de riesgos laborales en motoniveladoras, cargadoras y bulldozers, se ha determinado niveles de ruido (presión sonora) en las etapas de máquina encendida, en movimiento, acelerado moderado y acelerado máximo, con valores máximos y dosimetrías de 7 horas de trabajo: motoniveladora 81.0 dBA dosimetría 0.48, cargador 82.7 dBA dosimetría 0.57 y bulldozers de 96.9 dBA con dosimetría de 3.63 [21].

TABLA 3 - VALORES DE REFERENCIA PARA EL RUIDO URBANO EN AMBIENTES ESPECÍFICOS

| Ambiente específico | Efectos críticos sobre la salud | $L_{Aeq,T}$ [dBA] | Tiempo [horas] | L_{Amax} [dB] |
|--|--|----------------------|-------------------|--------------------|
| Sala de estar al aire libre | Molestia grave, diurna y nocturna | 55 | 16 | - |
| | Molestia moderada, diurna y nocturna | 50 | 16 | - |
| Vivienda interior Dormitorios interiores | Interferencia en el habla y molestia moderada, diurna y nocturna. | 35 | 16 | |
| | Trastornos del sueño, noche | 30 | 8 | 45 |
| Afuera de los dormitorios | Perturbación del sueño, ventana abierta (valores exteriores) | 45 | 8 | 60 |
| Interiores de aulas escolares y preescolares | Interferencia en el habla, alteración en el análisis de información y comunicación de mensajes | 35 | durante la clase | - |
| Dormitorios de centros preescolares, interiores | Alteración del sueño | 30 | durante el sueño | 45 |
| Escuela, patio de recreo al aire libre | Molestia (fuente externa) | 55 | durante el juego | - |
| Hospitales, pabellones, interiores | Trastornos del sueño, noche | 30 | 8 | 40 |
| | Trastornos del sueño, durante el día y por la noche. | 30 | 16 | - |
| Hospitales, salas de tratamiento, interiores. | Interferencia con el descanso y la recuperación. | # 1 | | |
| Zonas industriales, comerciales y de tránsito, interiores y exteriores | Deficiencia auditiva | 70 | 24 | 110 |
| Ceremonias, festivales y eventos de entretenimiento. | Deficiencia auditiva (patrones: < 5 veces/año) | 100 | 4 | 110 |
| Discursos públicos, interiores y exteriores. | Deficiencia auditiva | 85 | 1 | 110 |
| Música a través de auriculares o parlantes | Deficiencia auditiva (valor de campo libre) | 85 #4 | 1 | 110 |
| Impulso de sonidos de juguetes, fuegos artificiales y armas de fuego. | Deficiencia auditiva (adultos) | - | - | 140 # 2 |
| | Deficiencia auditiva (niños) | - | - | 120 # 2 |
| Al aire libre en zonas verdes y áreas de conservación. | Interrupción de la tranquilidad | # 3 | - | - |

Notas: # 1: lo más bajo posible; # 2: presión sonora máxima (no L_{Amax} , rápida), medida a 100 mm del oído; # 3: se debe preservar la tranquilidad de los parques y áreas de conservación y se debe mantener baja la relación entre el ruido intruso y el sonido natural de fondo; # 4: con auriculares, adaptado a valores de campo libre. $L_{Aeq,T}$: nivel de presión sonora equivalente ponderado A para el período T, L_{Amax} : Nivel máximo de presión sonora ponderado A en un intervalo establecido.

Fuente: [16].

3. METODOLOGÍA

El lugar de estudio se ubica en el distrito de Desaguadero provincia de Chucuito Puno-Perú, a una altitud media de 3830 msnm en la frontera con La Paz-Bolivia. Se han seleccionado cinco vías en construcción donde se ha utilizado maquinaria pesada y liviana para su pavimentación con concreto en el año 2019, los cuales son: Jr. Cusco con una longitud de 733.10 m, Jr. Leticia con 467.00 m, Jr. Pachacutec con 169.00 m, Jr. Gerardo Pérez con 249.30 m y Jr. José Antonio Encinas de 190.30 m. La Figura 1 muestra la ubicación del estudio.



Figura 1: Zona de estudio, 2019. Vista de detalle extraída de Google Maps.

En la medición del nivel de presión sonora se utilizó un Sonómetro clase 2 PRASEK PREMIUN modelo PR-352 con protector anti viento en el micrófono en dirección a la fuente sonora. Se registraron mediciones a intervalos de 5 minutos en el tiempo de funcionamiento de la maquinaria en operación. Se ha controlado las interferencias y las barreras que pudieran existir, suspendiéndose la medición del ruido cuando se presentó este tipo de interferencias. Los equipos monitoreados son los indicados en las Tabla 4 y 5, y las etapas para la construcción del pavimento rígido se muestran en la Tabla 6.

El procesamiento de datos ha sido realizado en base a la NTP-ISO 9612 2010 [22] de la que se ha considerado las siguientes ecuaciones:

Nivel de Presión Sonora equivalente ponderado A, determinado por la ecuación (1):

$$L_{p,A,eqT} = 10 \lg \left(\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I 10^{0.1 \times L_{p,A,eqT,mi}} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

donde $L_{p,A,eqT,mi}$ es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A durante una tarea de duración Tm ; i es el número de una medición de la tarea m ; I es el número total de mediciones de la tarea m .

Nivel de exposición al ruido ponderado A normalizado para una jornada laboral de 8 horas se determina con la ecuación (2):

$$L_{EX,8h} = L_{p,A,eqTe} + 10 \lg \left[\frac{T_e}{T_0} \right] \text{ dB} \quad (2)$$

donde $L_{p,A,eqTe}$ es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A para Te ; Te es la duración efectiva, en hora, de la jornada laboral; T_0 es la duración de referencia, $T_0 = 8$ h.

La dosis de ruido se determinó para el tiempo de 8 horas y Nivel de Presión Sonora permitido de 85 dBA, como se indica en la ecuación (3):

$$\%dosis = \left(\frac{T}{8} \right) 2^{(L-85)/3} \quad (3)$$

donde T es el tiempo que el trabajador estuvo expuesto al nivel equivalente; L es el nivel equivalente de ruido en la escala de ponderación A.

Al ruido medido, la atenuación se ha calculado según el ponderado A de la OSHA para el uso de tapón Endoural según la ecuación (4):

$$NRA = NPS - \frac{NRR - 7\text{dBA}}{2} \quad (4)$$

donde *NRA* es el nivel de ruido atenuado; *NPS* es el nivel de presión sonora; *NRR* es el nivel de reducción de ruido.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Niveles de presión sonora (NPS) con dosimetrías y niveles de protección auditiva medidos en la maquinaria utilizada en la construcción de los pavimentos rígidos.

Cada proceso de conformación de la estructura de un pavimento rígido requiere el uso de equipo mecánico o maquinaria. Los niveles de ruido para cada equipo mecánico han sido medidos por separado a una distancia de 2 m y una altura de 1.5 m de la fuente de emisión al inicio del proceso de operación a efecto de que no interfiera el ruido generado por otro equipo mecánico. Los resultados han sido agrupados en dos Tablas, la Tabla 4 para equipo mecánico pesado y la Tabla 5 para equipo mecánico liviano, las mismas que contemplan los NRA para el uso de protectores auditivos para el operador de la maquinaria.

TABLA 4 - NIVELES DE PRESIÓN SONORA, DOSIMETRÍAS Y NIVELES DE REDUCCIÓN DE RUIDO DEL EQUIPO MECÁNICO PESADO

| Equipo mecánico pesado | $L_{p,A,eqT}$ (dBA) | Tiempo (horas) | % de dosis | NRR (dBA) OSHA |
|--|------------------------|-------------------|------------|-------------------|
| Rodillo SINOMACH CMD512D | 85.4 | 3 | 41 | 9 |
| Retroexcavadora CAT 420 F2 | 77.8 | 6 | 14 | - |
| Autohormigonera 3.5 m ³ DIECI 14700 | 84.9 | 6 | 74 | 7 |
| Minicargador BODCAT S630 | 87.5 | 7 | 156 | 13 |
| Motoniveladora KOMATSU GD 405 A-3 | 82.7 | 4 | 30 | 3 |
| Excavadora CAT 330BL | 80.5 | 7 | 31 | - |
| Camión Mixer 8m ³ HOWO A7 | 90.6 | 6 | 271 | 19 |
| Camión Cisterna VOLVO N 33 | 69.6 | 4 | 1 | - |
| Volquete VOLVO NL12 | 79.8 | 4 | 15 | - |

Notas: $L_{p,A,eqT}$ = nivel de presión sonora ponderado A, dBA = decibelio ponderado A.

En la Tabla 4, se indican los niveles de presión sonora equivalente A medido en promedio para cada equipo mecánico pesado, además el tiempo promedio de trabajo de la máquina. Se observa que los niveles de presión sonora varían desde un valor mínimo de 77.8 dBA para la retroexcavadora hasta un valor máximo de 90.6 dBA para el camión mixer. También se observa los porcentajes de dosis de trabajo a los cuales están expuestos los operadores de cada equipo mecánico pesado, los cuales varían desde un rango del 1% para el camión cisterna hasta 271% para el camión mixer, en este punto dos equipos mecánicos exceden la dosis de exposición del trabajador a más del 100% los cuales son: el minicargador 156% y el camión mixer 271%; sin embargo, para una jornada laboral de 8 horas de trabajo continuo tanto el rodillo, el minicargador y el camión mixer superan el 100% de dosis de exposición del trabajador al ruido, lo que implica que hay riesgo de afectación a la salud auditiva de los trabajadores si no usan equipo de protección adecuados; por tanto, en general se recomienda que el trabajador use un protector auditivo mínimo tipo Endoural de un NRR 19 dB (OSHA).

En la Tabla 5 se observa los niveles de presión sonora equivalente A promedio medido para cada equipo mecánico liviano utilizado en la construcción del pavimento rígido y el tiempo promedio de trabajo de la máquina. Los niveles de presión sonora varían desde un valor mínimo de 79.2 dBA para la compresora hasta un valor máximo de 98.4 dBA para la amoladora. Respecto a las dosis de trabajo a los cuales están expuestos los operadores de cada equipo mecánico liviano, estas varían desde un rango del 23% para la compresora hasta 1155% para la cortadora de concreto, solo un equipo mecánico liviano no excede la dosis de exposición del trabajador a más del 100 %, todos los demás equipos: rotomartillo, motobomba, amoladora, generador trifásico, cortadora de concreto, vibradora de concreto y plancha compactadora exceden la dosis del 100 % para el tiempo promedio de operación de la maquinaria. Esta exposición es riesgosa para la salud auditiva del trabajador si no usa protector adecuado; por lo tanto, se recomienda el uso de un protector auditivo mínimo tipo Endeural de un NRR 35 dB (OSHA).

TABLA 5 - NIVELES DE PRESIÓN SONORA, DOSIMETRÍAS Y NIVELES DE REDUCCIÓN DE RUIDO DEL EQUIPO MECÁNICO LIVIANO

| Equipo mecánico liviano | $L_{p,A,eqT}$ (dBA) | Tiempo (horas) | % de dosis | NRR (dBA) OSHA |
|-----------------------------|---------------------|----------------|------------|----------------|
| Rotomartillo GSH 27VC | 92.1 | 2 | 129 | 23 |
| Motobomba | 90.1 | 3 | 123 | 19 |
| Compresora | 79.2 | 7 | 23 | - |
| Amoladora | 98.4 | 2 | 548 | 35 |
| Generador trifásico | 90.8 | 6 | 286 | 19 |
| Cortadora de concreto TH420 | 96.2 | 7 | 1155 | 31 |
| Vibradora de concreto | 89.2 | 4 | 131 | 17 |
| Plancha compactadora | 95.5 | 3 | 427 | 29 |

Notas: $L_{p,A,eqT}$ =nivel de presión sonora ponderado A, dBA= decibelio ponderado A.

4.2 Niveles de presión sonora y dosimetrías por etapas y tareas específicas en la construcción del pavimento rígido

Se ha considerado las etapas principales para la conformación de la estructura de un pavimento rígido que requiere el uso de maquinaria. El monitoreo al Nivel de Presión Sonora se realizó a un radio promedio de 5 m de la fuente de ruido dentro de la cual un trabajador realiza sus labores. En la Figura 2 se observa el monitoreo realizado al equipo mecánico pesado y liviano, además en la parte inferior de la misma se muestra los niveles de presión sonora alcanzados por toda la maquinaria estudiada, los mismos superan los 60 dBA para zona residencial y algunos los 85 dBA para el caso del análisis del tiempo de exposición del trabajador en una jornada laboral.



a) Monitoreo de motoniveladora



b) Monitoreo del vibrador de concreto



c) Monitoreo de camión mixer



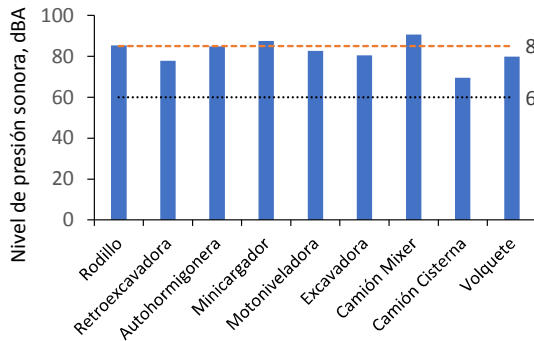
d) Monitoreo de cortadora de concreto



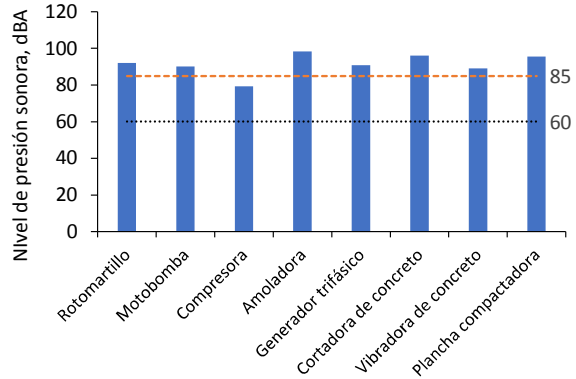
e) Monitoreo del rodillo vibratorio



f) Monitoreo del rotomartillo



g) NPS de maquinaria pesada



h) NPS de maquinaria liviana

Figura 2: Monitoreo de la maquinaria pesada y liviana en la construcción del pavimento rígido.

TABLA 6 – ETAPAS Y TAREAS REALIZADAS CON EL EQUIPO MECÁNICO Y NIVELES DE PRESION SONORA EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO

| Etapas | Tareas | Tiempo (horas) | $L_{p,A,eqT}$ (dBA) | $L_{EX,8h}$ (dBA) | % dosis | Equipo utilizado |
|---|--------------------------|----------------|---------------------|-------------------|---------|--|
| Corte a nivel de subrasante | Planificación | 1 | 65.66 | 75.20 | 10 | Excavadora y volquetes |
| | Excavación y eliminación | 7 | 75.72 | | | |
| Conformación subrasante y sub base granular | Traslado de material | 2 | 71.60 | 79.86 | 30 | Volquetes, motoniveladora, camión cisterna y rodillo vibratorio |
| | Conformación | 4 | 80.55 | | | |
| | Compactación | 2 | 81.64 | | | |
| Conformación compactación de base granular en veredas | Limpieza | 2 | 82.70 | 83.76 | 75 | Minicargador, camión cisterna y plancha compactadora |
| | Conformación | 3 | 83.03 | | | |
| | Compactación | 3 | 84.90 | | | |
| Concreto en veredas | Vaciado de concreto | 5 | 82.61 | 80.62 | 36 | Autohormigonera, camión mixer y vibrador de concreto |
| | Acabado y pulido | 3 | 65.77 | | | |
| Concreto en pavimento rígido | Limpieza | 1 | 83.28 | 83.98 | 79 | Minicargador, autohormigonera, camión mixer y vibrador de concreto |
| | Vaciado | 6 | 84.73 | | | |
| | Acabado | 1 | 66.24 | | | |
| Corte de concreto en pavimento | Trazo | 2 | 65.67 | 87.88 | 194 | Cortadora de concreto |
| | Corte de concreto | 6 | 89.12 | | | |
| Elaboración de mezclas de concreto en planta | Elaboración de mezcla | 6 | 83.00 | 81.77 | 47 | Camión mixer, retroexcavadora y motobomba |
| | Limpieza | 2 | 65.15 | | | |
| Pintado en pavimento | Trazo | 2 | 64.34 | 71.99 | 5 | Compresora y generador trifásico |
| | Pintado | 6 | 73.05 | | | |

Notas: $L_{p,A,eqT}$ = nivel de presión sonora ponderado A; $L_{EX,8h}$ = nivel de exposición al ruido para una jornada de 8 horas para cada tarea; $L_{EX,sh}$ = nivel de exposición al ruido ponderado para una jornada de 8 horas para cada etapa.

Las etapas principales en la construcción de un pavimento mostradas en la **Tabla 6**, están limitadas a una jornada laboral de 8 horas de trabajo diario. Se observa que los niveles de presión sonora equivalente A promedio varían desde un valor mínimo de 65.15 dBA para la tarea de limpieza en la etapa de elaboración de mezcla de concreto en planta hasta un valor máximo de 89.12 dBA para la tarea de corte del concreto en la etapa de corte de concreto en pavimento. Respecto al nivel de exposición al ruido ponderado A para el caso de las etapas, se tiene un nivel de exposición mínimo de 71.99 dBA para la etapa de pintado en pavimento hasta un nivel de exposición máximo de 87.88 dBA para la etapa de corte de concreto en pavimento superando los niveles máximos permisibles de 85 dBA. En cuanto al porcentaje de dosis a los cuales están expuestos los trabajadores, se presentan valores que van desde el 5% para la etapa de pintado en pavimento hasta 194% para la etapa de corte en concreto de pavimento en el que se excede la dosis del 100 % para una jornada laboral de 8 horas de trabajo continuo, incidiendo en la salud auditiva de los trabajadores responsables de realizar la tarea si no usan de protectores auditivos adecuados.

Con respecto a los resultados de la Tabla 4, se puede afirmar que el entorno ambiental en el que se encuentran los trabajadores de la construcción es bastante ruidoso y potencialmente dañino para la salud si se mantiene una jornada laboral de 8 horas de trabajo continuo. El rodillo, la autohormigonera, el minicargador y el camión mixer igualan o superan el límite superior de 85 dBA [13]. En el caso de los equipos mecánicos livianos todos exceden este valor, excepto para la compresora tal como se observa en la Tabla 5, lo cual es concordante con otros estudios realizados en equipos que se usan en la construcción en la que se supera el valor de 85 dBA [20]; por lo que, el uso de equipos de protección auditiva adecuados para el trabajador es de vital importancia para reducir la exposición al ruido de equipos pesados en la construcción [23]. La maquinaria utilizada en el sector minero se asemeja al de la construcción, en un estudio realizado en Madrid se hallaron los siguientes resultados donde un 90.2% de los puestos de trabajo presentan un $L_{EX,8h}$ superior a 80 dBA, un 75.4% superan los 85 dBA, y un 47.5% supera los 90 dBA de nivel diario de exposición sonora [24], resultados similares se encontraron en el presente estudio para las etapas de conformación de la sub rasante y sub base granular, compactación de base granular en veredas, concreto en veredas y pavimento rígido, corte del concreto y elaboración de mezclas de concreto en planta.

Así también, de las Tablas 4 y 5 se observa que gran parte de los trabajadores están expuestos a una dosis que superan los 80 dBA, similares a estudios realizados en trabajos de construcción en la que se ha determinado que la mayoría de los trabajadores, 67.5%, sufren una exposición diaria que excede los 80 dBA, 50.0 %, exceden los 87 dBA [25]; situación que puede influye en la salud auditiva del trabajador ocasionando pérdida en la calidad y desempeño en el trabajo [12], disminuyendo los rendimientos de la mano de obra el cual afectaría los presupuestos.

En un estudio sobre emisiones de ruido en las actividades de construcción, se ha determinado que la etapa de excavación se caracteriza por altos niveles de emisión de ruido debido a la maquinaria pesada que produce un tipo de ruido más constante que el registrado en las otras etapas debido a las características de los motores; además de las descargas de hormigón caracterizados por un mayor nivel de ruido, en general los resultados de emisión global en el estudio a lo largo de todo el proceso de construcción muestran un $L_{Aeq} = 67.7$ dBA [26], resultados algo superiores se ha encontrado en la presente investigación, para la tarea de excavación y eliminación 75.72 dBA, para vaciado de concreto en pavimento 84.73 dBA y para la elaboración del mezcla de concreto 83.00 dBA según se indica en la **Tabla 6**, sin embargo, en otro estudio se ha reportado que para la etapa de excavación y movimiento de tierras presenta un nivel equivalente ponderado A promedio de 81 dBA y dosis de ruido por debajo del 100% [25] concordante al presente estudio.

Para una jornada laboral de 8 horas de trabajo se considerar aceptable la exposición al nivel de presión sonora en la mayoría de los casos, siempre y cuando el trabajador se mantenga a una distancia mayor a 5 m de la fuente; excepto para la etapa de corte en concreto. En consecuencia, el uso de protectores auditivos adecuados al nivel de exposición para los trabajadores debe ser regulado de manera más específica por la legislación laboral del Perú. Los niveles de ruido generados en las tareas de las actividades constructivas inciden en la población aledaña al lugar con niveles que superan los 60 dBA para zonas residenciales en horario diurno [14] y ambientes específicos [16] influyendo en aspectos psicológicos como alteración del sueño, estrés, baja concentración y disminución del desempeño laboral y físico; asimismo, nerviosismo, fatiga e inestabilidad emocional [8] y discapacidad auditiva debido a los tiempos de ejecución que presentan los proyectos de infraestructura vial, por lo que, se sugiere el uso de barreras acústicas que sean acopladas al equipo mecánico, tal como lo muestra un estudio sobre el diseño y construcción de barreras acústicas para reducir la contaminación auditiva generada por una perforadora de concreto en vías públicas [27], con el propósito de no afectar la salud de la población adyacente al proyecto en construcción.

5. CONCLUSIONES

El nivel de presión sonora que presenta el equipo mecánico pesado utilizado en la construcción del pavimento rígido varía entre los valores de 69.6 dBA a 90.6 dBA, siendo las dosimetrías más críticas para el operador del minicargador y camión mixer, en los demás casos no exceden los valores críticos, observándose además una prevalencia para el rodillo

y autohormigonera; por tanto, se sugiere la utilización de protectores auditivos de un nivel mínimo de NRR 19 dB para el operador de la máquina.

El equipo mecánico ligero presenta valores de presión sonora que supera el umbral de los 85 dBA, excepto para la compresora. Las dosimetrías presentan valores críticos que exceden el 100 % para el operario del rotomartillo, motobomba, amoladora, generador, cortadora, vibradora y plancha compactadora, por consiguiente, el uso de los protectores auditivos en este grupo de operadores es de vital importancia siendo recomendable un nivel mínimo de NRR 35 dB.

Durante las etapas de construcción del pavimento rígido las tareas presentan niveles de presión sonora desde un valor de 64.34 dBA hasta 89.12 dBA. Las dosimetrías críticas se presentan para la etapa del corte del concreto en pavimento que supera el 100 %, para el resto de etapas no se exceden los valores críticos estipulados para una jornada de 8 horas de trabajo. Sin embargo, estos niveles de presión sonora inciden en el bienestar de la población porque exceden los 60 dBA para zona residencial en horario diurno; por tanto, los proyectistas deben prestar atención a la adopción de estrategias orientadas a disminuir el ruido mediante el uso de barreras acústicas para mitigar los efectos en la población.

REFERENCIAS

- [1] M. de A. D'Agosto, "Noise pollution, vibration, visual intrusion, and emission of solid and liquid waste," in *Transportation, Energy Use and Environmental Impacts*, Elsevier, 2019, pp. 259–280.
- [2] R. Salas López and E. Barbosa Castillo, "Evaluación del ruido ambiental en el Campus de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú," *Rev. Indes*, vol. 2, no. 1, pp. 88–96, 2016.
- [3] Y. González Sánchez and Y. Fernández Díaz, "Efectos de la contaminación sónica sobre la salud de estudiantes y docentes, en centros escolares," *Rev. Cubana Hig. Epidemiol.*, vol. 52, no. 3, pp. 402–410, 2014.
- [4] P. Martínez Suárez and A. Moreno Jiménez, "El ruido ambiental urbano de Madrid: caracterización y evaluación cuantitativa de la población potencialmente afectable," *Boletín la Asoc. Geógrafos Españoles*, no. 40, pp. 153–180, 2005.
- [5] S. Ballesteros, S. Lorrio, I. Molina, and M. Áriz, "Contaminación acústica en el transporte sanitario urgente por carretera," *An. Sist. Sanit. Navar.*, vol. 35, no. 3, pp. 367–375, 2012.
- [6] I. Amable Álvarez, J. Méndez Martínez, L. Delgado Pérez, F. Acebo Figueroa, J. de Armas Mestre, and M. Rivero Llop, "Contaminación ambiental por ruido," *Rev. Médica Electrónica*, vol. 39, no. 3, pp. 640–649, 2017.
- [7] M. Cattaneo, R. Vecchio, M. López, L. Navilli, and F. Scrocchi, "Estudio de la contaminación sonora en la ciudad de Buenos Aires," *Univ. Palermo*, vol. 17, no. 2, pp. 1–19, 2013.
- [8] M. A. Cohen and O. S. Castillo, "Ruido en la ciudad. Contaminación auditiva y ciudad caminable," *Estud. Demogr. Urbanos Col. Mex.*, vol. 32, no. 1, pp. 65–96, 2017.
- [9] I. V. Muralikrishna, V. Manickam, I. V. Muralikrishna, and V. Manickam, "Noise Pollution and Its Control," in *Environmental Management*, Butterworth-Heinemann, 2017, pp. 399–429.
- [10] N. Auger, M. Duplaix, M. Bilodeau-Bertrand, E. Lo, and A. Smargiassi, "Environmental noise pollution and risk of preeclampsia," *Environ. Pollut.*, vol. 239, pp. 599–606, 2018.
- [11] C. R. Degrandi and G. W. Nogueira, "Exposición Ocupacional a la Contaminación Sonora en Anestesiología," *Rev. Bras. Anestesiología*, vol. 62, no. 2, pp. 253–261, 2012.
- [12] J. F. Ganime, L. Almeida da Silva, M. do C. C. Robazzi, S. Valenzuela Sauzo, and S. A. Faleiro, "El ruido como riesgo laboral: una revisión de la literatura," *Enfermería Glob.*, no. 19, pp. 1–15, 2010.
- [13] MINEM, "Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería Decreto supremo N°024-2016-EM," *El Peruano*, pp. 595392–595447, 2016.
- [14] PCM, "Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido Decreto Supremo N° 085-2003-PCM." El peruano, 2003.
- [15] A. P. Garrido Galindo, Y. Camargo Caicedo, and A. M. Vélez Pereira, "Nivel de ruido en la unidad de cuidado intensivo adulto: Medición, estándares internacionales e implicancias sanitarias," *Univ. y Salud*, vol. 17, no. 2, p. 163, 2015.
- [16] B. Berglund, T. Lindvall, D. H. Schwela, and WHO, *Guidelines for community noise*, Occupation. Ginebra: World Health Organization, 1999.
- [17] B. O. Bolaji, M. U. Olanipekun, A. A. Adekunle, and A. E. Adeleke, "An analysis of noise and its environmental burden on the example of Nigerian manufacturing companies," *J. Clean. Prod.*, vol. 172, pp. 1800–1806, 2018.
- [18] S. Dabirian, S. H. Han, and J. Lee, "Stochastic-based noise exposure assessment in modular and off-site construction," *J. Clean. Prod.*, vol. 244, p. 118758, 2020.
- [19] A. W. A. Hammad, A. Akbarnezhad, and D. Rey, "A multi-objective mixed integer nonlinear programming model for construction site layout planning to minimise noise pollution and transport costs," *Autom. Constr.*, vol. 61, pp. 73–85, 2016.
- [20] G. Mosquera, "Base de Datos de Niveles de Ruido de Equipos que se usan en la Construcción , para Estudios de

- Impacto Ambiental,” Universidad Austral de Chile, 2003.
- [21] L. C. Rodrigo Fernando, “Aplicación del método William Fine para la evaluación de riesgos laborales en motoniveladoras, cargadoras y bulldozers del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Chimborazo,” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2013.
- [22] NTP, “Acústica. Determinación de la exposición al ruido laboral. Método de ingeniería.” INDECOPI, Lima, Perú, pp. 1–71, 2010.
- [23] S. Saleh, S. Woskie, and A. Bello, “The Use of Noise Dampening Mats to Reduce Heavy-Equipment Noise Exposures in Construction,” *Saf. Health Work*, vol. 8, no. 2, pp. 226–230, 2017.
- [24] I. Pavón García, “Ambientes laborales de ruido en el sector minero de la comunidad de Madrid: clasificación, predicción y soluciones,” Universidad Politécnica de Madrid, 2007.
- [25] M. D. Fernández, S. Quintana, N. Chavarría, and J. A. Ballesteros, “Noise exposure of workers of the construction sector,” *Appl. Acoust.*, vol. 70, no. 5, pp. 753–760, 2009.
- [26] M. J. Ballesteros, M. D. Fernández, S. Quintana, J. A. Ballesteros, and I. González, “Noise emission evolution on construction sites. Measurement for controlling and assessing its impact on the people and on the environment,” *Build. Environ.*, vol. 45, no. 3, pp. 711–717, 2010.
- [27] S. Espinoza Vasquez and D. Jaramillo Arango, “Diseño y construcción de una barrera acústica para reducir la contaminación auditiva generada por una perforadora de concreto en vías públicas,” Universidad de San Buenaventura, 2012.