EDITORIAL NAVEGANTE

EFECTOS DEL RUIDO OCUPACIONAL EN LA SALUD Y SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES: UN MODELADO ESPACIAL

Jorge José Segura Dávila
Salomón Medardo Ortiz Quintanilla
Julio Miguel Fernández Prado



Jorge José Segura Dávila
Correo: jjseguradav@gmail.com
Perfil: Doctor en ciencias y tecnologías medio ambientales doble maestría en computación e informática y en seguridad y salud minera, Ingeniero de Minas con 30 años de experiencia laboral en empresas mineras, docente universitario en cursos de especialidad, auditor autorizado por el ministerio de trabajo y promoción del empleo del Perú para la evaluación periódica del sistema de gestión en seguridad y salud en el trabajo.
ORCID: https://orcid.org/0009-0005-4711-6371
Afiliación: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

Salomón Medardo Ortiz Quintanilla
Correo: sortizq@unjbg.edu.pe
Perfil: Ingeniero de Minas. Pensamiento estratégico, creatividad, negociación, capacidad analítica y habilidad para promover y gerenciar el cambio, con gran capacidad de liderazgo, actitud proactiva, alta responsabilidad en las labores encomendadas, trabajo en equipo, capaz de crecer en un ambiente rápido y competitivo. Experiencia en Planeamiento, Programación. Lee y escribe idioma inglés.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5185-9929
Afiliación: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

Julio Miguel Fernández Prado
Correo: jfernandezp@unjbg.edu.pe
Perfil: Doctor en ciencias y tecnologías medio ambientales, ingeniero de minas con experiencia laboral de 25 años en minas subterráneas, docente universitario en cursos de especialidad y dominio en redes de ventilación y perforación de rocas.
Afiliación: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

EFECTOS DEL RUIDO OCUPACIONAL EN LA SALUD Y SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES: UN MODELAMIENTO ESPACIAL

Jorge José Segura Dávila

Salomón Medardo Ortiz Quintanilla

Julio Miguel Fernández Prado

EDITORIAL NAVEGANTE

Todas nuestras publicaciones son sometidas a revisión doble-ciego
de pares académicos (*Peer Review Double Blinded*).

Esta publicación cuenta con licencia Creative Commons Reconocimiento -
NoComercial - SinObraDerivada 3.0 Unported License.



ISBN: 978-628-7623-81-1

© Jorge José Segura Dávila

© Salomón Medardo Ortiz Quintanilla

© Julio Miguel Fernández Prado

2024
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.11035466
©Editorial Navegante
www.editorialnavegante.com

Queda prohibida la reproducción bajo cualquier modalidad de toda o una parte
de esta obra sin autorización expresa del titular de los derechos.

Diseño de carátula y composición: Editorial Navegante
Edición electrónica: Editorial Navegante

Editado en Colombia/ *Published in Colombia*

EFECTOS DEL RUIDO OCUPACIONAL EN LA SALUD Y SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES: UN MODELAMIENTO ESPACIAL

Jorge José Segura Dávila

Salomón Medardo Ortiz Quintanilla

Julio Miguel Fernández Prado

EDITORIAL NAVEGANTE

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS **8**

ÍNDICE DE FIGURAS **10**

INTRODUCCIÓN **12**

CAPÍTULO I

CONCEPTOS GENERALES DEL RUIDO **15**

1.1. El ruido como fenómeno físico **16**

1.2 Tipos de ruido **19**

1.3 Nivel de ruido equivalente **21**

1.4 El ruido ocupacional **23**

1.5 Principales fuentes de ruido **25**

1.6 Límites máximos de exposición de ruido ocupacional **25**

1.7. Nociones acerca del ruido y el padecimiento auditivo en los trabajadores **26**

1.8. Prevención del ruido en el ámbito laboral **27**

CAPÍTULO II

ALTERACIONES EN LA SALUD Y SEGURIDAD PROVOCADAS POR EL RUIDO **28**

2.1 Consecuencias por exposición al ruido 29
2.2 Efectos del ruido ocupacional en la salud de los trabajadores 30
2.3 Efectos del ruido ocupacional 31
2.4 Hipoacusia 33
2.4.1 Tipos 34
2.5 Audiogramas 35

CAPÍTULO III

MODELO ESPACIAL Y VARIOGRAMA 37

3.1 El modelo espacial 37
3.2 Modelo espacial basado en la teoría de las variables regionalizadas 38
3.3 Validación de un modelo espacial 39
3.4 Variograma 40
3.5 Kriging como modelo de estimación, predicción y simulación 45
3.6 Ecuaciones de Kriging Ordinario para Bloques 46

CAPÍTULO IV

INCIDENCIA DEL RUIDO OCUPACIONAL EN LA SALUD Y SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES DE LA PLANTA DE BENEFICIO ASUNCIÓN: UN MODELAMIENTO ESPACIAL 48

CAPÍTULO V

ALCANCES FINALES SOBRE LA RELACIÓN ENTRE EL RUIDO OCUPACIONAL, LA SALUD Y SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES 85

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.
Límites máximos permisibles de exposición a ruido **26**

Tabla 2.
Variables e Indicadores independientes **50**

Tabla 3.
Variables e indicadores dependientes **51**

Tabla 4.
Características técnicas del sonómetro integrador **54**

Tabla 5.
Niveles de ruido ocupacional en la planta de beneficio **57**

Tabla 6.
Niveles de ruido ocupacional por áreas de trabajo **60**

Tabla 7.
Dosis a niveles de ruido ocupacional puro **61**

Tabla 8.
Dosis a niveles de ruido residual con protección auditiva **63**

Tabla 9.
Riesgo de daño auditivo (dB) **64**

Tabla 10.
Riesgo de contraer hipoacusia leve **65**

Tabla 11.
Riesgo de contraer hipoacusia moderada **67**

Tabla 12.
Riesgo de contraer hipoacusia severa **68**

Tabla 13.
Incidencia de pérdida auditiva por áreas de trabajo **69**

Tabla 14.
Incidencia de pérdida auditiva en los trabajadores **70**

Tabla 15.
Hipótesis planteadas **72**

Tabla 16.
Tipo de variables **73**

Tabla 17.
Hipótesis específica 1 ..... **73**

Tabla 18.
Resultados prueba Chi-cuadrado 01 ..... **74**

Tabla 19.
Hipótesis específica 02 ..... **75**

Tabla 20.
Resultados prueba Chi-cuadrado 02 ..... **76**

Tabla 21.
Hipótesis especifica 03 ..... **77**

Tabla 22.
Resultados prueba Chi-cuadrado 03 ..... **78**

Tabla 23.
Hipótesis general **79**

Tabla 24.
Resultados prueba Chi-cuadrado hipótesis general **80**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.
Ruido continuo producido en bombas horizontales, ubicadas en el circuito de flotación bulk de cobre-plomo **20**

Figura 2.
Ruido intermitente producido en perforación de taladros **20**

Figura 3.
Ruido de impacto producido en operaciones de voladura **21**

Figura 4.
Nivel de ruido equivalente **22**

Figura 5.
Audiometrías en base a Clasificación elaborada por Klockhoff **35**

Figura 6.
Área de influencia, mostrando una correlación espacial, a cierta distancia de ¨a" **38**

Figura 7.
Trayectoria del sonido y realización de una variable regionalizada asociada a los niveles de ruido en el tiempo o en el espacio **39**

Figura 8.
Dos puntos o datos a la distancia vectorial h **41**

Figura 9.
Pares de muestras a una distancia h **42**

Figura 10.
Definición de intervalos para el cálculo de $\gamma^*(h)$ **43**

Figura 11
Representación del modelo esférico **45**

Figura 12.
Volumen a estimar **46**

Figura 13.
Mapa con curvas isofónicas de los niveles de ruido ocupacional de la planta de Beneficio Asunción **58**

Figura 14.
Mapa con curvas isofónicas de los niveles de ruido ocupacional de la planta de beneficio de la Asunción **59**

INTRODUCCIÓN

La minería en el Perú data de muchos siglos atrás, por lo que se ha posicionado como uno de los sectores productivos que aporta más del 50 % de las divisas generadas en las exportaciones totales. Se trata de uno de los sectores de mayor crecimiento en el país, con inversiones importantes en el territorio nacional, ya que, actualmente, somos uno de los países de Sudamérica de mayor interés para las inversiones internacionales. Ello ha sido demostrado durante los gobiernos de Alberto Fujimori, quien promovió dicha actividad, logrando que la inversión extranjera se diera con mayor fuerza, sobre todo en la década de los noventa. Gracias a ello, el Perú se convirtió en el segundo productor mundial de plata, seguido del zinc, cobre y estaño (Ministerio de Energía y Minas, citado por Arellano, 2013).

Los aportes de la industria minera al país son de gran relevancia, sobre todo cuando se ven los elevados índices de ingresos reflejados en el PIB, los cuales equivalen al 14 %, así como un 60 % en cuanto a las exportaciones. Esto se ha traducido en mejoras para el Perú, puesto que son cada vez más los países que tienen un marcado interés por invertir y, de esta manera, buscan incrementar sus ganancias. Por otro lado, es importante destacar que la actividad minera se ha convertido en un imán para la inversión foránea directa. Para el 2012, por ejemplo, la afluencia de la FDI logró alcanzar un total de 12.2 billones de dólares solo con la minería, que abarcó la mayor porción (8.5 billones de dólares). Esto representó una excelente oportunidad no solo para la dinámica comercial internacional, sino también en beneficio propio, lo cual generó enormes y satisfactorias ganancias.

La industria minera y sus filiales en el ramo de la explotación de los principales recursos ha llevado a la industria a contar no solo con nueva y sofisticada tecnología, sino también con mejoras en los equipos y maquinarias en ampliaciones de plantas de beneficio. Además, el avance de la mecanización en minas a cielo abierto y subterráneas ha conllevado también un notable incremento de las fuentes generadoras de ruido y, como consecuencia, el aumento del nivel de riesgo de exposición ocupacional de los trabajadores que desarrollan sus actividades, principalmente en labores subterráneas y plantas de beneficio. Esta situación ha inducido a que muchas de las empresas dedicadas a la minería tengan su propio comité, tanto de seguridad como de salud, conformado por representantes de los trabajadores y del empleador. Estos comités facilitan las condiciones óptimas para dar la suficiente información acerca de los riesgos que corren los trabajadores en algunas situaciones laborales, asimismo, desarrollan mecanismos para salvaguardar tanto la salud como la vida de los trabajadores (Organización Internacional del Trabajo, 2018).

Los trabajadores se someten, principalmente, a contaminación relacionada con el ruido, como consecuencia de las diversas actividades mineras, debido al uso de las nuevas y destacadas tecnologías que en la actualidad están presentes. Algunas de estas actividades ocasionan la pérdida de capacidades que afectan su salud, sobre todo, a nivel auditivo, lo cual es uno de los problemas más graves. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), citada por Corrales et al. (2021), la pérdida de la audición es la discapacidad sensorial de mayor prevalencia a nivel mundial, con un aproximado de 466 millones de personas.

En el ámbito minero se emplea diversas maquinarias y herramientas que a largo plazo generan en el trabajador grandes problemas, principalmente auditivos, por el uso y la exposición frecuente; además, los trabajadores suelen desempeñarse no solo en espacios cerrados, sino también en lugares abiertos. Esto se traduce en un asunto de salud pública, ya que las enfermedades asociadas al ruido que proviene de actividades industriales están ocasionando severos daños en la audición de los trabajadores.

En la actualidad, la mayor parte de las empresas cuentan con equipos sofisticados y maquinarias que han hecho más sencillo el trabajo industrial; sin embargo, esto ha traído graves inconvenientes, ya que la maquinaria genera mucho más ruido de lo normal, exponiendo a daños, muchas veces irreversibles, a sus trabajadores. Estas maquinarias en un medio urbano también pueden contaminar, generando mayores problemas a los ya existentes.

De allí que las empresas, en aras de contribuir con el medioambiente y los trabajadores, deben crear los medios para que estos daños no aumenten y, de esta manera, no existan mayores pérdidas económicas ni problemas de salud.

CAPÍTULO I

CONCEPTOS GENERALES DEL RUIDO

Existen diversas formas de definir el ruido, por ejemplo, como un sonido desagradable. Sin embargo, específicamente el ruido no es en sí un sonido. Este último posee armonía, cuerpo y estructura, mientras que el ruido es un conjunto de ondas desordenadas (sin patrones). Además, un ruido es molesto, incómodo y muchas veces afecta a la salud de los seres humanos.

Por ello, la presencia de ruido en la sociedad es un problema grave, que incluso llega a preocupar tanto como otras enfermedades, cuyo índice de mortalidad es elevado. Así, solo en Estados Unidos, más de 9 millones de trabajadores se ven expuestos a niveles altos en sus lugares de trabajo. Los elevados niveles de ruido a los cuales muchos de estos trabajadores se exponen perjudican no solo su salud, sino que también generan otros problemas. No obstante, aunque la pérdida de la audición es lo más grave, debe saberse que no es lo único que un trabajador puede llegar a perder.

1.1 Ruido como fenómeno físico

Como se mencionó anteriormente, el ruido es un sonido desagradable y molesto (Amable et al., 2017), que genera en quien lo percibe, no solo problemas de salud, sino también consecuencias fisiológicas, psicológicas e, incluso, sociales. Para Murphy y Rice, citados por Chaux y Acevedo (2019), "El ruido se define como cualquier sonido no deseado o potencialmente dañino producido por las actividades humanas y que deteriora la calidad de vida de las personas." (p. 235).

Este fenómeno puede afectar de forma directa e indirecta a ciertas actividades humanas, tales como el sueño, el descanso, el trabajo, el estudio, entre otras, mermando la salud de las personas (Coral, 2020). Por ello, se le considera un contaminante altamente peligroso, además de perturbador y molesto, que influye notablemente en el órgano auditivo (Bula, 2019). Debido a ello, las personas que viven expuestas a ruidos elevados pueden perder de forma permanente la audición. Asimismo, el ruido suele generar pérdidas en la economía debido a la falta de productividad y por la generación de gastos médicos en los trabajadores (Romero et al., 2016).

Por otro lado, para Sierra y Beyoda (2016), el ruido es una dispersión del sonido que se hace desagradable, además de ser visto como un agente generador de daños tanto al sistema auditivo como a otros. Asimismo, se entiende por ruido a aquel factor que puede afectar de forma negativa a la sociedad (Organización Mundial de la Salud, citada por Gamero, 2020):

> El ruido es un agente de deterioro ambiental que atañe al medio físico transformado y principalmente al ser humano. Constituye uno de los problemas medioambientales que afectan principalmente a las zonas patrimoniales y a quienes las habitan, es, entonces, un factor que mide la calidad de vida. (Fernández, citado por Fajardo-Segura y Mateus-Lucas, 2017, p. 83)

En todas las ciudades existe el ruido, sin embargo, no se le da la importancia debida, ya que el ser humano está muy habituado a él "tanto que el ruido ha llegado a formar parte de la vida y convivencia (García-Garrido, citado por Mendoza y Rodríguez, 2019, p. 30).

Estudios recientes han demostrado las terribles consecuencias que el ruido puede tener en los seres humanos, pero también en cualquier entorno social y ambiental. El ruido causa muchas más enfermedades que la misma contaminación atmosférica. Recientemente, la OMS publicó un boletín donde se incluyen algunas recomendaciones sobre los niveles de ruido que deberían establecerse como máximos de referencias, con base en criterios establecidos por la organización. Este boletín presenta una clasificación entre los distintos niveles de ruido que son emitidos por algunas máquinas, así como por aviones, trenes, tráfico, turbinas eólicas o por aquellas actividades producto del ocio.

Para la OMS, el ruido se ha convertido en un asunto serio y de gran importancia para la sociedad, debido a que produce diversas enfermedades, así como efectos negativos en la vida de las personas. Asimismo, cabe señalar que el ruido está formado por un componente físico, es decir, el sonido; y otro subjetivo, que se traduce en una molestia.

Cuando se dice que existe contaminación atmosférica, resulta inevitable mencionar los vehículos a motor, puesto que el tráfico genera una doble contaminación: ambiental y acústica, también llamada sónica. Así, tanto la primera como la segunda son dos de las formas de contaminación más perjudiciales para la salud pública.

La persistencia del tráfico ha ocasionado que muchos habitantes de las ciudades modernas que viven en países europeos se encuentren de forma permanente expuestos a niveles altos (por encima de los 55 Db), elevando la cifra hasta los 100 millones de habitantes. Por ello, se estima que en la actualidad existen 32 millones de habitantes que soportan niveles de ruido muy elevados como consecuencia del tráfico. No obstante, el problema es

más grave todavía, puesto que se estima que un 25 % de los habitantes de algunas ciudades está expuesto a niveles mucho más elevados de ruido, es decir, por encima de los 55 Db, según estudios de la OMS.

La misma organización señala que la mitad de las personas entre 12 y 35 años escuchan música en equipos electrónicos, entre los cuales se puede mencionar dispositivos como celulares, tablets, MP3, entre otros.

La OMS recomienda no superar los 65 dB para asegurar la salud auditiva, ya que una exposición más alta aumenta el riesgo. Además, la Comisión de Audiología de SEORL ha creado la siguiente lista de sonidos con sus niveles de decibelios:

- Avión despegando 140 dB
- Lavavajillas 60 dB
- Motocicleta 90 dB
- Sierra eléctrica 95 dB
- Discotecas, petardos o pirotecnia 110 dB (el riesgo es inmediato si hay una exposición prolongada)
- Concierto de rock 120 dB (si la exposición se prolonga por más de siete minutos, el daño será total)
- Claxon de un vehículo 90 dB
- Conversación acalorada, puede ser de 80 dB
- Sirena de tren, alarma de incendio 125 dB

Por otro lado, el ruido es uno de los contaminantes laborales más frecuentes. Una gran cantidad de trabajadores se ven expuestos diariamente a niveles elevados de ruidos como consecuencia de las actividades que desempeñan. Entre las diversas enfermedades que pueden padecer se encuentran las siguientes:

- Pérdida de la capacidad auditiva
- Cambios en el comportamiento social
- Efectos cardiovasculares
- Disminución del rendimiento laboral
- Trastornos del aparato digestivo
- Malestar, estrés o nerviosismo
- Aumento de accidentes laborales

1.2 Tipos de ruido

Ruido continuo

Se produce a través del uso de maquinaria que funciona de manera constante, como bombas, equipos de proceso o ventiladores. La medición manual es suficiente para determinar el nivel de ruido.

Además, ocurre cuando la presión sonora permanece prácticamente constante durante el período de observación (durante la jornada de trabajo). Durante el periodo de exposición, este tipo de ruido no experimenta cambios rápidos y repentinos de nivel; el cambio máximo es de hasta 2 dB. Como generadores de este tipo de ruido, en minería, se tiene a los equipos de ventilación, compresoras, bombas de solución, molinos, chancadoras, grupos electrógenos y otros.

Figura 1

Ruido continuo producido en bombas horizontales, ubicadas en el circuito de flotación bulk de cobre-plomo



Ruido intermitente

Este sonido se produce cuando una maquinaria específica opera en ciclos o cuando vehículos o aviones circulan. Se dice que es intermitente cuando el ruido emitido aumenta y disminuye de forma rápida; en otras palabras, se producen caídas bruscas de forma intermitente hasta el nivel ambiental y se alcanza el nivel superior durante más de un segundo antes de que vuelva a caer. Los generadores de este tipo de ruido son el accionar de las máquinas perforadoras, jumbos de perforación, scoops y otros.

Figura 2

Ruido intermitente producido por perforación con taladros



Ruido de impacto

Cuando su efecto es breve, este tipo de ruido es impulsivo. Se caracteriza por impulsos individuales de corta duración a intervalos regulares e irregulares con fluctuaciones bruscas de la presión sonora, con una elevación brusca del ruido en menos de 35 milisegundos y una duración total de menos de 500 milisegundos. Los generadores de este tipo de ruido son los disparos o voladuras en minas, arranque de ventiladores y otros equipos.

Figura 3
Ruido de impacto producido en operaciones de voladura



1.3. Nivel de ruido equivalente

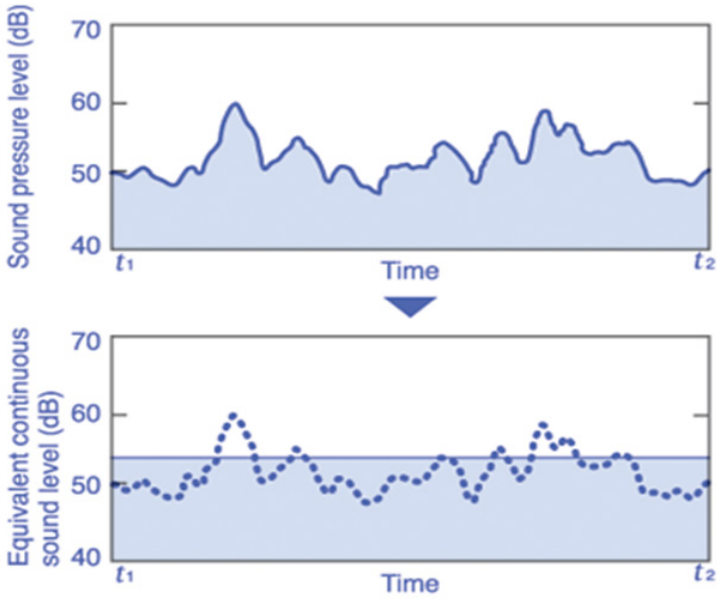
A este nivel se le conoce así debido a que es un indicador que permite describir la contaminación sónica en una determinada localidad. En este sentido, se muestra el nivel de ruido acumulado a lo largo de un periodo T y estandarizado en relación con el mencionado intervalo.

Este nivel puede emplearse no solo para describir el contexto sonoro en una determinada zona, sino también para aportar una característica sonora concreta. Un ejemplo de ello puede ser si en el lugar existen ruidos de aviones, pues el nivel de ruido equivalente condiciona el ambiente y lo estandariza como tal.

El objetivo principal de las mediciones de ruido es calcular con precisión la exposición de ruido total. Según investigaciones en laboratorio e in situ, la percepción humana del sonido está relacionada con la cantidad total de ruido físico. El periodo de interés puede ser de segundos, minutos o horas, el nivel de ruido variable en el tiempo a largo plazo se mide con frecuencia como el nivel promedio en el tiempo Leq; es decir, la energía acústica total se mide promediándola en el periodo de tiempo de medición.

Figura 4

Nivel de ruido equivalente



Decibel

Se define como la "unidad adimensional usada para expresar el logaritmo de la razón entre una cantidad medida y una cantidad de referencia. De esta manera, el decibel es usado para describir niveles (OSHA) de presión, potencia e intensidad sonora" (Tomas, 2018, p. 46).

Curva A dB(A)

Se encarga de medir la respuesta del oído ante un sonido de intensidad baja. Es la más semejante a la percepción logarítmica del oído humano. Por lo tanto, se utiliza para establecer el nivel de contaminación acústica y el riesgo que sufre el hombre al ser expuesto a esta.

1.4. Ruido ocupacional

Desde que empieza el proceso de industrialización en las principales ciudades, inicia el desarrollo de uno de los problemas más graves a nivel laboral: el ruido ocupacional, que está presente en la mayoría de los centros de ocupación, aunque también se encuentra fuera de ellos, generando graves problemas de salud en los trabajadores. El incremento de la capacidad productiva, así como la aparición de nuevas y sofisticadas tecnologías, hacen que el ruido también aparezca y, con él, nuevos padecimientos en los trabajadores, como la hipoacusia, entre otros (Martínez, 1995).

Por ello, el ruido ocupacional es la segunda causa más común de pérdida auditiva (Mellisho, 2017). Asimismo, es la principal causa de estrés en los trabajadores, quienes se ven afectados no solo a nivel laboral, sino también a nivel social y físico.

La exposición prolongada a este tipo de riesgo puede generar problemas de salud al trabajador, un deficiente desempeño laboral, baja calidad de vida y de salud, así como accidentes en el trabajo (Ganime et al., 2010). No obstante, y en muchas ocasiones, el trabajador no percibe esta situación sino pasado el tiempo cuando se percata de que algo ya no funciona de la misma manera. Así, se va perdiendo, entre otras cosas, la eficiencia en el trabajo, el rendimiento laboral, llegando al caso en que muchos de los trabajadores no solo pierden su trabajo, sino que se retiran de este en forma prematura.

En consecuencia, esta exposición, además de excesiva, podría ser una de las causas por las que los trabajadores sufren algún tipo de enfermedad

auditiva, pues se estima que cerca de 500 millones de personas podrían estar en peligro de sufrir una pérdida auditiva considerable inducida por el ruido. Según la OMS, cerca del "10 % de la población mundial está expuesta a niveles de presión sonora que podrían causar hipoacusia" (Grass et al., 2017, p. 2), incluso esta enfermedad en los últimos años ha superado enfermedades como la diabetes o el cáncer (Yankaskas et al., citados por Ortiz, 2021). La hipoacusia se puede prevenir, sin embargo, continúa siendo una de las enfermedades ocupacionales provocada, por lo general, por el avance tecnológico de la ciencia. Esta enfermedad se define como la disminución de la capacidad auditiva de uno o ambos oídos, que puede ser parcial o total, permanente y acumulativo de tipo neurosensorial (Torres et al., 2015).

A esta enfermedad también se le suele asociar con la sordera ocupacional que ocurre con frecuencia en personas mayores de 40 años, lo cual puede desencadenar problemas como trastornos cardiovasculares y problemas en otros órganos y, en consecuencia, genera poca productividad, ausentismo prolongado, baja autoestima, incluso, la pérdida del empleo (Medina et al., 2013).

El ruido en el ambiente laboral

Buena parte de las condiciones para que un trabajador pueda rendir de manera considerable deben ser las mejores, pues un ambiente saludable puede ser positivo tanto en el rendimiento como en las capacidades que un trabajador desarrolla dentro de su contexto laboral. Por el contrario, si el ambiente no tiene o no posee las condiciones de seguridad, así como de cuidado, el rendimiento no será del todo óptimo; por lo que tanto su salud como su rendimiento se verán drásticamente afectados. Un ejemplo de ello es el ruido ocupacional, al cual no se le ha tomado atención por no ser considerado un problema serio; sin embargo, el ruido puede generar distintos padecimientos denominados enfermedades ocupacionales (López et al., 2021).

1.5. Principales fuentes de ruido

Tal y como se ha definido, el ruido, al ser desagradable para el oído, puede generar reacciones que van desde padecimientos físicos de primer orden como los ya descritos hasta psíquicos. Diversos estudios afirman que el ruido puede provocar diversas respuestas, así como generar patrones de inadaptación psicofisiológica con ciertas repercusiones neurosensoriales, endocrinas, vasculares y digestivas (Ortega y Cardona, 2005).

Existe una gama destacable en cuanto a las fuentes que producen ruido, estas suelen estar divididas; por un lado, aquellas que pueden afectar considerablemente el órgano auditivo, mientras que el otro factor se encuentra en los vehículos, transporte motorizado, aviones y trenes. Por otro lado, existen las construcciones urbanas, el ruido industrial, así como el ruido propio de las ciudades y vecindarios (González y Santillán, citados por Alfie y Salinas, 2017).

1.6. Límites máximos de exposición de ruido ocupacional

De acuerdo a las diversas resoluciones dictadas por los ministerios que se encargan de cuantificar los sonidos permitidos, estos sostienen que existe un rango establecido, el cual se basa en estándares. Para Cano (2021), "el rango de audición humana aceptado se extiende desde 20 Hz hasta 20.000 Hz" (p. 96). Por otro lado, "la Resolución Ministerial N.o 375-2008-TR establece los estándares nacionales para ruido ocupacional en relación con el valor del nivel diario de exposición al ruido ponderado A, LEX,8h, el cual se calcula a partir de la ecuación N.o 2" (Cano, 2021, p. 96).

$$\mathrm{LEx,8h}=\mathrm{LP,Aeqte}+10\log\int\left(\frac{Te}{To}\right)dt...Ec.2$$

Lp, A, eqTe es el nivel de presión sonora equivalente ponderado A para la duración efectiva de la jornada laboral; Te, la duración efectiva de la jornada laboral (Tabla 1); To, la duración de referencia T0 = 8h.

Tabla 1

Límites máximos permisibles de exposición a ruido

Nivel de ruido en escala "A", d B (A)	Tiempo de exposición
100	¼ hora / día
97	½ hora/ día
94	1 hora7día
91	1 ½ horas/día
88	4 horas/día
85	8 horas/día
84.5	9 horas/día
83	12 horas/día
82	16 horas/día

Nota. Tomado de RM-375-2008-TR (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo [MTPE], citado por Cano (2021))

1.7. Nociones acerca del ruido y el padecimiento auditivo en los trabajadores

El ruido puede causar pérdidas auditivas, sordera, incluso enfermedades cardiovasculares; asimismo, puede generar disminución en la calidad de vida de las personas, y en el ámbito laboral, pérdidas en la productividad. En ese sentido, se ha establecido que las personas cuya exposición a ruidos fuertes son las que más posibilidades tienen de perder la audición. Esta pérdida puede ser no solo neurosensorial, sino también bilateral o simétrica, lo cual puede generar lesiones en el oído como consecuencia de soportar elevados decibelios (Romero et al., 2016).

1.8. Prevención del ruido en el ámbito laboral

Técnicamente, el ruido ocurre con frecuencia en los ámbitos laborales, sobre todo en aquellos espacios donde la actividad requiere del uso de maquinarias consideradas de alto calibre por su capacidad de generar mayores ganancias, así como por tener mejores rendimientos. En ocasiones es casi imposible que una determinada actividad no genere ruido. No obstante, en la actualidad, existen mecanismos de control y seguimiento para que el ruido no afecte de forma prolongada a los trabajadores, así como para minimizar los efectos drásticos en su salud.

Los procesos de industrialización han generado diversas consecuencias. Por un lado, la dinámica y el flujo poblacional han propiciado un mayor desplazamiento, ya sea en transporte convencional como en urbano, además de incrementar la cantidad de automóviles. Esto ha producido mayor presencia poblacional, lo que se ve reflejado en el incremento de niveles altos de ruidos. Asimismo, la aparición de las grandes industrias también se estaría sumando como causa de ello. Esta realidad ha traído consigo mayores concentraciones no solo de agentes contaminantes, sino también el aumento de enfermedades auditivas en los trabajadores.

CAPÍTULO II

ALTERACIONES EN LA SALUD Y SEGURIDAD PROVOCADAS POR EL RUIDO

En la actualidad, y como consecuencia de los complejos procesos de industrialización, muchos trabajadores están sometidos a drásticos procesos, en los que están expuestos a ruidos que llegan a afectar no solo su salud, sino también su desempeño laboral.

Se estima que existe un gran porcentaje de trabajadores que padecen de alguna enfermedad relacionada con la pérdida auditiva tanto eventual como permanente, situación que se ha tornado preocupante. Hasta hace unos años, el desempeño laboral solo consistía en pequeñas actividades, pero con el arribo de la industria en todos los ámbitos y sectores, el ser humano ha tenido que enfrentar acontecimientos que lo han obligado a emplear maquinarias para hacer su actividad mucho más sencilla, las cuales ocasionarían un daño a nivel fisiológico, así como un deterioro en cuanto a la percepción auditiva.

2.1. Consecuencias por exposición al ruido

Mucho se ha discutido en torno a los efectos que pueden generar los ruidos en la salud de las personas. Sin embargo, no se ha puesto énfasis en que los ruidos pueden ser provocados por las mismas acciones humanas, por lo que una de las soluciones más viables respecto a este mal es tomar conciencia, así como generar un conjunto de ideas para minimizar el uso de aparatos que de por sí producen sonidos elevados que afectan de manera gradual tanto la salud como el desempeño de los trabajadores.

La exposición al ruido ocasiona daños a las estructuras interna de la cóclea, a su vez, provoca cambios del umbral auditivo tanto de forma temporal como permanente. También puede aparecer el zumbido, conocido como tinnitus, que se considera como señal de advertencia de una lesión coclear (Gutiérrez-Farfán et al., 2018). Algunas de las afecciones que pueden sufrir los trabajadores son las siguientes.

Disminución de la capacidad auditiva

Esta disminución puede deberse, en primer lugar, a un bloqueo mecánico de la transmisión del sonido al oído interno. De igual modo, la pérdida puede deberse a los procesos que normalmente son conducidos al cerebro, el cual se ve drásticamente afectado por los elevados decibeles producidos por actividades inherentes a sus labores. Esto también puede provenir de los ruidos como consecuencia del crecimiento poblacional, vehicular, entre otros.

La pérdida de la audición por exposición frecuente al ruido es irreversible. No obstante, puede generarse no solo por a una exposición frecuente, sino también de forma escalonada, es decir, la persona está expuesta a sonidos desagradables, lo que puede ocasionarle una pérdida parcial.

2.2. Efectos del ruido ocupacional en la salud de los trabajadores

El ruido es un problema medioambiental y social. Como se sabe, la exposición de forma prolongada al ruido puede causar no solo enfermedades auditivas, sino también cansancio y, con ello, estrés y alta presión sanguínea. A continuación, se detallan algunos de los padecimientos:

Disminución de la capacidad auditiva temporal

Un oído sometido a una intensidad prolongada se puede fatigar, así como tardar en un intervalo entre 12 a 16 horas en recuperarse. Transcurrido ese lapso, si no hay mejoría, los daños son permanentes.

Pérdida de audición

Uno de los primeros síntomas que suelen presentarse es la incapacidad para percibir sonidos fuertes. Si esto persiste, puede afectar los tonos más bajos. Esta pérdida puede darse debido a una exposición breve, pero con fuertes impulsos. Por lo general, estos ruidos pueden perforar la membrana del tímpano causando tinnitus.

Después de un breve período de tiempo en un lugar de trabajo ruidoso, es posible sentir zumbidos en el oído o no poder escuchar bien. El término para esta enfermedad es el desplazamiento temporal del umbral. Al alejarse del ruido, normalmente el zumbido y la sordera desaparecen. El oído tardará más en recuperar su capacidad normal cuanto más tiempo se esté expuesto.

Frecuencia

La frecuencia se expresa en hercios (Hz), que son el equivalente al número de ondas (ciclos) que ocurren en una unidad de tiempo. En la mayoría de los casos, un sonido rara vez se compone de una sola frecuencia. El ruido generalmente consiste en una variedad de frecuencias, y normalmente se clasifica como de banda ancha, que abarca una amplia gama de frecuencias, o de banda estrecha, que solo abarca unas pocas frecuencias.

El espectro es la estructura de la frecuencia de ruido. La capacidad del oído humano para captar sonidos a frecuencias entre 20 y 20 000 Hz disminuye con el tiempo, lo que provoca la presbiacusia. La frecuencia de la voz humana, por otro lado, varía de 100 a 8 000 Hz, y la frecuencia de una conversación típica varía de 400 a 3 000 Hz.

Intensidad

La presión acústica se mide en decibelios (dB) y está determinado por la intensidad, es decir, por la fuerza de la vibración y por la alteración que esta produce en el aire. El ruido, al aumentar la intensidad, además de dificultar la conversación, puede dañar la función auditiva y, cuando el nivel sonoro supera los 120 dB, producir una sensación dolorosa.

Tiempo de exposición

A mayor tiempo de exposición, mayor riesgo; sin embargo, un ruido de corta duración pero de muy alta intensidad también puede causar lesiones auditivas irreversibles. La exposición continua a ruidos durante muchos años de trabajo daña el oído. La mayoría de las personas que trabajan en la minería están expuestas a niveles de ruido peligrosos que suelen superar los 85 dB y, en algunos casos, los 140 dB.

2.3. Efectos del ruido ocupacional

Según la OIT, los efectos en la salud de la exposición al ruido están directamente relacionados con el nivel y la duración de la exposición. Estos efectos pueden ser los siguientes:

Pérdida temporal de la audición

Como se sabe, luego de un corto tiempo en un lugar de trabajo ruidoso, a veces se nota que no se puede oír muy bien o se perciben zumbidos en el oído. A esta afección se le denomina desplazamiento temporal del umbral. El zumbido y la sensación de sordera desaparecen, normalmente, al poco

tiempo de estar alejado del ruido. Ahora bien, cuanto más tiempo se esté expuesto, más se tardará el oído en recuperar su capacidad normal.

Pérdida permanente de la audición

Una de las principales consecuencias de la exposición al ruido ocupacional prolongado en el sitio de trabajo es la hipoacusia neurosensorial, la cual se define por la exposición prolongada a niveles elevados de ruido (Gómez et al., 2012):

> La exposición continua o repetitiva a altas frecuencias auditivas destruye fácilmente y progresivamente las células y nervios del oído interno. Si existe la destrucción de un número suficiente de células y nervios, habrá pérdida de la capacidad auditiva de tipo permanente. (Gómez et al., 2012, p. 175)

Existe un promedio estimado de 7 a 21 % de las pérdidas de la audición causada por actividades inherentes a la industria. Además, existen 500 millones de personas en riesgo de perder la audición por causa del ruido. Por otro lado, existe un tercio de la población mundial que padecen algún tipo de sordera, así como de pérdida tanto parcial como permanente del oído, causada, por lo general, por elevados decibeles de sonidos (Contreras, 2013).

Si el oído ha sido afectado de forma progresiva por elevados decibeles o ruidos, es muy probable que el trabajador a lo largo del tiempo y de forma progresiva vaya perdiendo la capacidad para oír. Esta situación es tanto grave como preocupante, puesto que con el oído el ser humano no solo percibe los sonidos, sino también le permite relacionarse, además de brindarle información valiosa, así como la adquisición del lenguaje y nuevos conocimientos que pueden verse afectados (Obando et al., 2009).

2.4. Hipoacusia

Es una discapacidad producida por los elevados ruidos, ya sean ocupacionales o recreativos. Esta enfermedad surge como respuesta a una exposición prolongada y frecuente a ruidos de alta intensidad (Llanos-Redondo et al., 2020). De acuerdo a la OMS, la pérdida de la audición representa uno de los padecimientos más altos a nivel mundial, catalogándola como una de las enfermedades irreversibles más frecuentes (Lagos et al., 2020). Para Medina et al. (2013), la hipoacusia se define como:

> La incapacidad total o parcial para escuchar sonidos en uno o ambos oídos. Es la disminución del nivel de audición por encima de lo que se considera normal, medida en decibeles (dB). Se promedia con frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz; para salud ocupacional hasta 3000 Hz. (p. 117)

Asimismo, "la hipoacusia o pérdida de la capacidad auditiva es una discapacidad crónica que afecta alrededor del 5 % de la población mundial" (Díaz et al., 2016, p. 731), además de producir enormes y cuantiosas pérdidas económicas en las empresas (Cerro-Romero et al., 2020). Este padecimiento es un grave problema de salud que se incrementa junto con el avance de la tecnología y la civilización, debido a que reduce la capacidad para comunicarse con los demás, así como la calidad de vida de las personas y su socialización (Hernández y Gutiérrez, 2006; García et al., 2017). De acuerdo con cifras ofrecidas por la OMS, para el 2014, la organización estimó que cerca de 360 millones de personas padecen esta enfermedad, además, para el 2025, se calculó que la hipoacusia aumente debido a diversos factores como los ya descritos (Cardemil et al., 2021).

Según estimaciones de la Organización Panamericana de la Salud, existe una prevalencia de esta enfermedad en un 17 % solo en América Latina en trabajadores con una jornada laboral de ocho horas diarias durante cinco días a la semana que van desde los 10 a 15 años de labores. Esta enfermedad en la actualidad es catalogada como la de mayor presencia en la sociedad contemporánea (Candiotti y Tintaya, 2019).

2.4.1. Tipos de hipoacusia

Hipoacusia conductiva

Se define como la "disminución de la capacidad auditiva por alteración a nivel del oído externo o del oído medio que impide la normal conducción del sonido al oído interno" (Medina et al., 2013, p. 117).

Hipoacusia neurosensorial

Se le conoce como la "disminución de la capacidad auditiva por alteración a nivel del oído interno (cóclea y/u octavo par craneal). Las alteraciones más frecuentes se relacionan con las modificaciones en la sensibilidad coclear" (Medina et al., 2013, p. 117).

Hipoacusia mixta

Es la disminución de la capacidad auditiva por una coexistencia de alteraciones de tipo conductivo y neurosensorial en el mismo oído.

Hipoacusia neurosensorial inducida por ruido ocupacional

Es causado por la exposición prolongada o aguda a niveles de ruido peligrosos en el lugar de trabajo. Debido a la lesión de las células ciliadas externas, también se han encontrado alteraciones a nivel de las células ciliadas internas y las fibras del nervio auditivo en una proporción menor.

Como ya se ha mencionado, el ruido puede ser perjudicial si se prolonga por un largo tiempo; transcurrido este, puede generar no solo pérdidas de la audición, sino también otras enfermedades que incluso pueden poner en riesgo la vida de las personas.

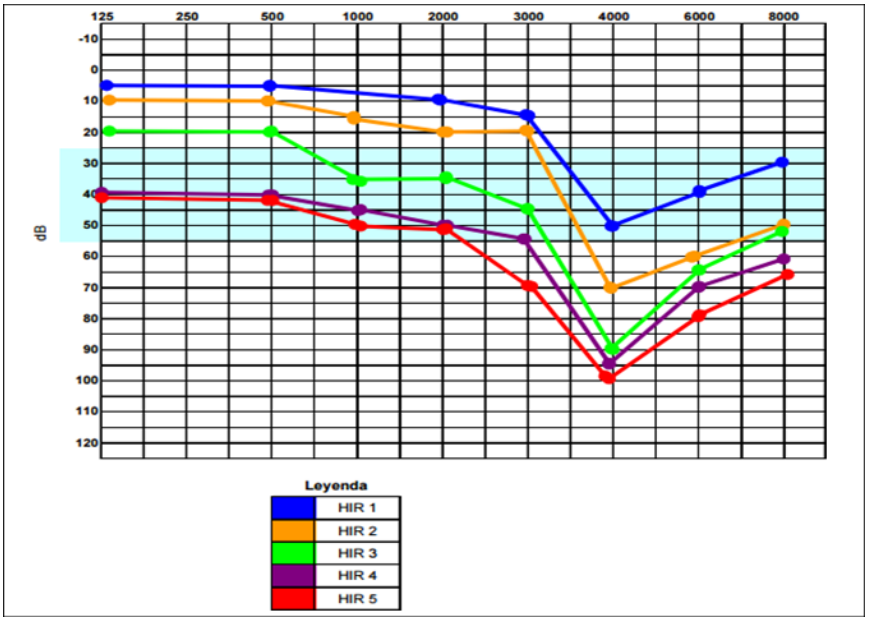
En ese sentido, se señala que "cualquier persona expuesta a ruido de forma repetida, puede desarrollar una hipoacusia progresiva, al cabo de los años" (Urbina, 2011, p. 448).

2.5. Audiogramas

El audiograma es un gráfico que ofrece una descripción detallada de la capacidad de oír y se podría definir como un retrato de la capacidad auditiva de una persona. Este gráfico se emplea para valorar el sonido y el rango normal de audición de una persona, que puede alcanzar hasta los 20 000 Hz. Este estudio fue introducido en los inicios de la década de los sesenta; sin embargo, esta práctica ya se conocía desde la primera mitad del siglo XIX. Su empleabilidad puede evaluarse de dos formas, la primera como una herramienta de corte investigativo con el fin de aumentar el conocimiento de la audición; y la segunda, para estudiar la posible afección auditiva que es provocada por agentes nocivos (García et al., 2021).

Figura 5

Audiometrías basadas en la clasificación elaborada por Klockhoff



La prueba auditiva que realiza el médico especialista en audición se compone de una serie de pruebas, que sirven para determinar si el paciente

padece o no una pérdida de audición. Los resultados de estas pruebas suelen visualizarse en un audiograma.

En el caso del audiograma de la figura 5, las frecuencias conversacionales que no estén alteradas serán definidas como HIR tipo 1 cuando el escotoma no supere los 55 dB y como HIR tipo 2 cuando los supere. En caso de que las frecuencias conversacionales estén alteradas, se clasificará como HIR tipo 3 cuando alguna de las frecuencias conversacionales no está afectada; HIR tipo 4 cuando están afectadas todas las frecuencias conversacionales, pero ninguna de ellas en más de 55 dB; y HIR tipo 5 cuando están afectadas todas las frecuencias conversacionales y, como mínimo, una de ellas en más de 55 dB.

Basándose en los resultados del audiograma, el médico puede decir, entre otras cosas, si el trabajador sufre o no una pérdida auditiva y, de ser así, determinar su gravedad. El audiograma describe su capacidad auditiva mostrando los umbrales de audición ante varias frecuencias. El umbral de audición indica lo suave que un sonido puede llegar a ser hasta que se haga inaudible. Se considera normal tener umbrales de audición de entre 0 y 25 dB.

CAPÍTULO III

MODELO ESPACIAL Y VARIOGRAMA

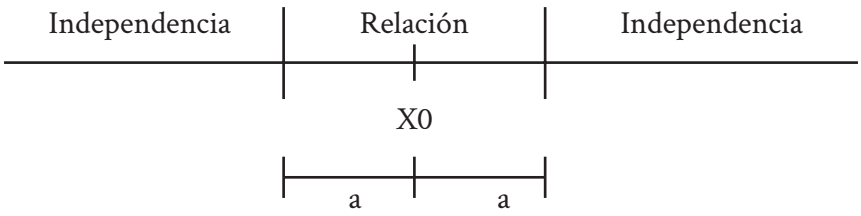
Tanto un modelo como un método sirven no solo para medir algún tipo de fenómeno, sino también para determinar qué aspectos pueden ser medibles, abordados y estudiados en su totalidad. Muchos de estos modelos y métodos permiten cuantificar qué aspectos pueden usarse con fines específicos, así como para determinar cuáles pueden ser los escenarios más viables para la ejecución de un plan o proyecto. En el caso de los ruidos, es viable hacer uso tanto de un método como de un sistema que permita saber qué tan perjudicial puede llegar a ser y, de este modo, establecer los mecanismos para saber cuáles podrían ser los más convenientes, a nivel matemático.

3.1. El modelo espacial

Según Alfaro (1975), la base teórica de la geoestadística incorpora a la teoría de la estadística clásica y obtiene los mismos resultados cuando la variable asume un comportamiento aleatorio, fuera de un rango "a" donde los datos se comportan en forma independiente, tal como se puede apreciar en la Figura 6.

Figura 6

Área de influencia, mostrando una correlación espacial, a cierta distancia de "a"



La zona de apoyo donde los datos muestran una correlación espacial está dada por una distancia "a", es decir, habrá una relación estructural entre las muestras, un grado de dependencia entre ellas, que es estudiada por la geoestadística y define el modelo espacial para los niveles de ruido monitoreados. Sin embargo, cuando no hay ninguna relación entre las muestras del conjunto de datos, se dice que sus valores están independientes y se puede observar un comportamiento aleatorio entre ellos. En estas áreas de independencia de valores, la geoestadística producirá los mismos resultados que la estadística clásica.

3.2. Modelo espacial basado en la teoría de las variables regionalizadas

El modelo espacial utiliza la teoría de las variables regionalizadas para estimar y simular las variables monitoreadas. Una variable regionalizada es una función que muestra la variación en el espacio de una magnitud específica relacionada con un fenómeno natural. La variable regionalizada se abrevia generalmente como V.R.

Sea x un punto del espacio, se designa la variable regionalizada por la notación z(x), que en este caso representa la trayectoria del sonido, representada por la Figura 7:

Figura 7

Trayectoria del sonido y realización de una variable regionalizada asociada a los niveles de ruido en el tiempo o en el espacio



Nota. Tomado de Alfaro (1975)

3.3. Validación de un modelo espacial

Sea Z(x) una función aleatoria estacionaria con variograma (h), su función de covarianza C(h) viene dada por C(h) = s2 - (h), donde s2 es la varianza de Z(x). Sea Zx1, Zx2, ..., Zxn los valores de Z(x) en "n" puntos medidos.

La validación cruzada consiste en suprimir el i-ésimo valor medido Z(xi) y estimarlo a partir del resto de los datos. El valor estimado Z*(xi) se calcula por kriging, procedimiento explicado más adelante.

Si se repite este proceso para los n puntos, se pueden calcular n errores de validación:

E(xi) = Z*(xi)- Z(xi), para i = 1, 2, …, N.

Así, se van probando diferentes valores de los parámetros del variograma hasta que los errores de validación cumplan los siguientes criterios estadísticos:

El error medio, dado por T1 = (1/n) Σi=1,n [Z(xi) - Z*(xi)], debe ser aproximadamente igual a cero.

El error medio cuadrado, dado por T2 = (1/n) Σ i=1,n [Z(xi) - Z*(xi)]2, debe ser pequeño.

La medida, T3 = (1/n) Σi=1,n { [Z(xi) - Z*(xi)]/s } 2, debe ser igual a uno.

La medida, T4 = Corr{ [Z(xi) - Z*(xi)]/s , Z*(xi)}, debe ser cero.

La medida, T5 = Corr{ Z(xi), Z*(xi)} , debe ser uno.

3.4. Variograma

Un variograma es, según Portilla et al. (2021):

Una técnica de análisis de correlación de variables regionalizadas, que debe ser implementada por personal capacitado y/o conocedor de este principalmente en la selección de los distintos parámetros a utilizar, lo que implica una alta dedicación de tiempo, convirtiéndose en una labor intensa y compleja para cualquier ingeniero de reservorios, ocasionando que muchas direcciones de búsqueda no sean cuantificadas con respecto a la correlación. (p. 8)

La mayoría de los fenómenos naturales tienen una continuidad espacial, lo que significa que los datos que están cerca se parecen más que si estuvieran lejos. Se puede ver que la disposición de los datos tiene un orden, una cierta continuidad. En consecuencia, un valor alto suele estar cerca del valor alto. El variograma proporciona un resumen de las principales características del comportamiento espacial de la variable en estudio y es un componente esencial del proceso de análisis estructural. Interpretarlo

como un momento de segundo orden da como resultado al estimador γ* (h) conocido como el variograma experimental. Para Chuquiruna (2020):

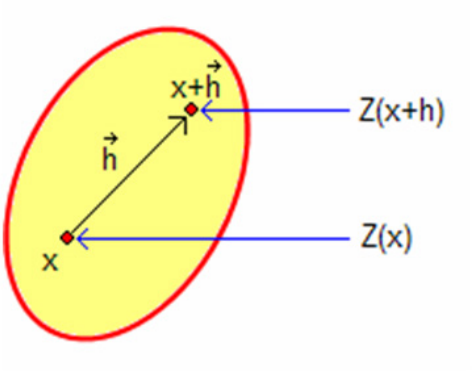
> El variograma experimental está basado en datos de muestras. Estos valores deben ajustarse a una curva (fórmula matemática), una que describa las principales características, mientras ignora la fluctuación errática de punto a punto. Las funciones para el ajuste son: Modelo esférico, modelo exponencial y modelo gaussiano. (p. 40)

El variograma experimental se estima con base en los datos y la estructura del fenómeno. La variabilidad entre dos puntos del espacio, x y x+h, distantes del vector (h), está caracterizada por la función variograma, que se constituye en la herramienta fundamental del modelo espacial, teóricamente está definida por:

$$\gamma(x+h,x)=\gamma(h)=\frac{1}{}E\left\{\left[Z(x+h)-Z(x)\right]^2\right\}$$

Figura 8

Dos puntos o datos a la distancia vectorial h



Nota. Tomado de Alfaro (1975)

En la práctica, el variograma experimental se obtiene mediante la siguiente expresión:

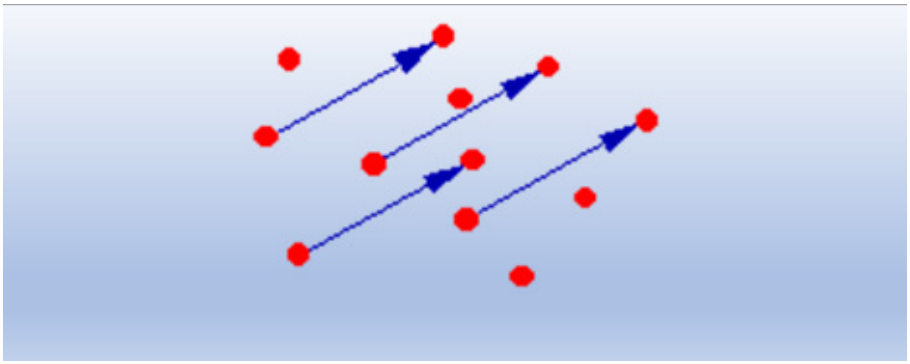
$$\gamma^* \cong \frac{1}{} \sum [+ \ -]^2$$

Donde:

Z(xi) son los valores experimentales en los puntos xi, en los que se dispone de datos tanto en xi como en xi +h; N(h), el número de pares de puntos separados por una distancia h, por ejemplo, si h = (20,10), cada par de muestras comparadas deben separarse por 20 metros en la dirección Oeste - Este y 10 metros en la dirección Sur – Norte.

Figura 9

Pares de muestras a una distancia h



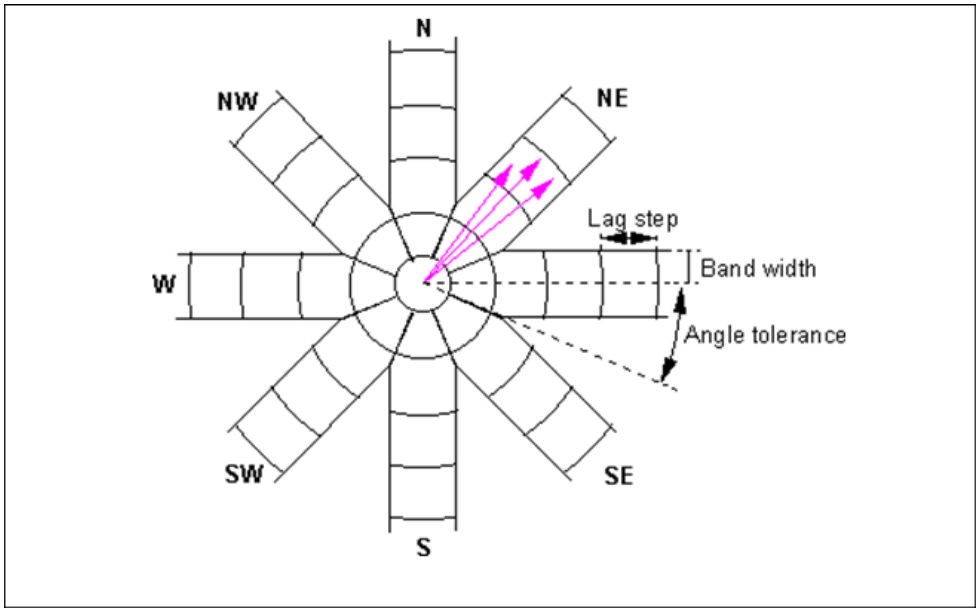
Nota. Tomado de Alfaro (1975)

Las distancias entre los puntos de cada pareja son diferentes en la práctica, especialmente cuando se trabaja en dos o tres dimensiones, y puede no haber dos parejas de puntos situadas a la misma distancia. Como resultado, se establecen una serie de intervalos de clase y cada una de las parejas

cuyas distancias del vector h se encuentran en el intervalo se asigna al cálculo del variograma experimental. La cantidad de direcciones puede variar de 4, 8, 16, etc.

La elección de los parámetros que definen cada intervalo es difícil y suele requerir algunas iteraciones y cierta práctica. Por lo tanto, lo más común es repetir el cálculo con diferentes amplitudes y seleccionar una que brinde una definición adecuada del variograma. Esto significa que los h no deben estar tan separados que no sea posible distinguir su comportamiento, ni tan juntos que el número de parejas sea pequeño y que las oscilaciones de la curva experimental no sean excesivas.

Figura 10
Definición de intervalos para el cálculo de γ(h)*



Modelamiento de variogramas

Se define como la búsqueda de "una función analítica que represente adecuadamente los valores estimados del variograma" (Santamaría y Malla, 2008, p. 89). El modelado de variogramas incluye dos etapas fundamentales, una vez construido el variograma experimental o empírico es necesario ajustar a este un modelo teórico, con el objetivo de determinar los parámetros descriptivos del modelo que posteriormente serán usados en la estimación, predicción y simulación de los datos que representan al fenómeno natural. Los modelos teóricos de variogramas admisibles o autorizados más utilizados en la práctica se presentan atendiendo a las dos características más importantes en el modelado, las cuales son las siguientes:

- Comportamiento en el origen, el cual puede ser linear, parabólico y con efecto de pepita

- La presencia o ausencia de meseta.

Entre los modelos de efecto pepita puro, esférico, cuadrático, exponencial, gaussiano, función potencia, cúbico y seno cardinal, el modelo esférico es el de mayor relevancia.

Modelo esférico

Este es probablemente el modelo más utilizado. La figura 11 muestra una expresión polinomial sencilla que muestra un crecimiento casi lineal y luego una estabilización, la meseta, a cierta distancia finita del origen. En el origen, la tangente encuentra la meseta en el punto de abscisa (2/3) a, donde el valor del alcance es a.

Figura 11

Representación del modelo esférico

$$\gamma(h)=\begin{cases} s\left(\frac{3}{2}\frac{|h|}{a}-\frac{1}{2}\frac{|h|^3}{a^3}\right) & \text{si } |h|\le a \\ s & \text{si } |h|\ge a \end{cases}$$

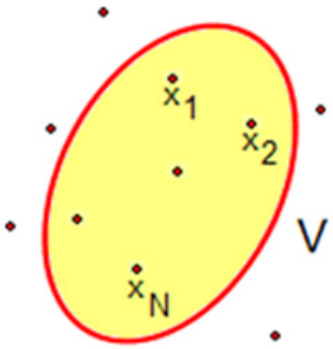
3.5. Kriging como modelo de estimación, predicción y simulación

Conocido como un procedimiento geoestadístico de gran importancia, puesto que genera una superficie estimada a partir de una serie de intervalos o puntos dispersados con valores z muy diferentes de otros métodos de interpolación, kriging implica una investigación interactiva del comportamiento espacial del fenómeno representado por los valores z antes de seleccionar el mejor método de estimación para generar la superficie de salida. Cuando no existen observaciones que deriven del campo espacial, usualmente se acude al método kriging, pues este método proporciona, a grandes rasgos, el mejor estimador lineal (Córdoba et al., 2019). Este método es empleado de forma común para la interpolación espacial tanto de variables geofísicas como hidrológicas. Uno de los pasos esenciales para la aplicación de este método es definir la correlación espacial denominada variograma (Gutiérrez-López et al., 2011).

Este modelo surge en la década de los cincuenta, con el fin de estimar las reservas en las minas de oro de Sudáfrica. Se basa en la interpolación estocástica (Cordero et al., 2018). La técnica del kriging consiste en encontrar la mejor estimación lineal insesgada de un bloque o zona V considerando la información disponible; es decir, las muestras interiores y exteriores a V, tal como se muestra en la Figura 12:

Figura 12

Volumen a estimar



Nota. Tomado de Alfaro (1975)

3.6. Ecuaciones de kriging ordinario para bloques

Para obtener las ecuaciones de krigeado se debe minimizar la expresión de σE^2:

$$\sigma_E^2 = 2\sum_{i=1}^{N} \lambda_i \frac{1}{V}\int_V \gamma(x_1, x)\,dx - \frac{1}{V^2}\int_V\int_V \gamma(x, y)\,dxdy - \sum_{i=1}^{N}\sum_{i=1}^{N} \lambda_1\lambda_1\gamma(x_i, x_j)$$

Los λi deben verificar la siguiente condición:

$$\sum_{i=1}^{N} \lambda_1 = 1$$

El método clásico para minimizar la expresión de σE^2 (igualar a cero las derivadas parciales de σE^2 respecto de $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_N$) no asegura que la suma de los λi sea 1. En este caso, se requiere utilizar el método de Lagrange, obteniendo un sistema lineal de N+1 ecuaciones con N+1 incógnitas (λ1, λ2, …, λN, μ).

$$\begin{array}{llll}
\lambda_1\gamma(x_1,x_1)+\lambda_2\gamma(x_1,x_2)+ & \ldots+\lambda_N\gamma(x_1,x_N)+\mu=(1/N)\int v\gamma(x_1,x)dx \\
\lambda_1\gamma(x_2,x_1)+\lambda_2\gamma(x_2,x_2)+ & \ldots+\lambda_N\gamma(x_2,x_N)+\mu=(1/N)\int v\gamma(x_2,x)dx \\
\vdots \quad\quad \vdots & \vdots \quad\quad \vdots \quad\quad \vdots \\
\lambda_1\gamma(x_N,x_1)+\lambda_2\gamma(x_N,x_2)+ & \ldots+\lambda_N\gamma(x_N,x_N)+\mu=(1/N)\int v\gamma(x_N,x)dx \\
\lambda_1 \quad + \quad \lambda_1 \quad + & \ldots+ \quad \lambda_N \quad\quad = \quad\quad 1
\end{array}$$

Expresión matricial

$$\begin{pmatrix}
0 & \gamma_{12} & \gamma_{13} & \cdots & \gamma_{1n} & 1 \\
\gamma_{21} & 0 & \gamma_{13} & \cdots & \gamma_{2n} & 1 \\
. & . & . & . & . & . \\
. & . & . & . & . & . \\
. & . & . & . & . & . \\
\gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \gamma_{n3} & \cdots & 0 & 2 \\
1 & 1 & 1 & \gamma_{n1} & 1 & 0
\end{pmatrix}
\begin{pmatrix}
\gamma_1 \\ \gamma_2 \\ . \\ . \\ . \\ n \\ \mu
\end{pmatrix}
=
\begin{pmatrix}
\gamma_1 \\ \gamma_2 \\ . \\ . \\ . \\ n \\ \gamma_1
\end{pmatrix}$$

Varianza del error

Se demuestra que la expresión de la varianza del error se simplifica, obteniéndose lo siguiente:

$$\sigma_E^2=\sum_{i=1}^{N}\lambda_i\frac{1}{V}\int_V\gamma(x_1,x)dx-\frac{1}{V^2}\int_V\int_V\gamma(x,y)dxdy+\mu$$

CAPÍTULO IV

INCIDENCIA DEL RUIDO OCUPACIONAL EN LA SALUD Y SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES DE LA PLANTA DE BENEFICIO ASUNCIÓN: UN MODELAMIENTO ESPACIAL

La minería en el Perú data de muchos siglos atrás y es uno de los sectores productivos que aporta con más del 50 % de las divisas generadas por las exportaciones totales y de mayor crecimiento en el país, con inversiones importantes en el territorio nacional. Actualmente, Perú es uno de los países sudamericanos que despierta mayor interés para las inversiones internacionales.

El incremento significativo en la producción de la industria minera, con nueva tecnología, renovación y mejoramiento en los equipos y maquinarias en ampliaciones de plantas de beneficio y el avance de la mecanización en minas a cielo abierto y subterránea, ha generado un notable

incremento de las fuentes generadoras de ruido y, en consecuencia, el aumento del nivel de riesgo de exposición ocupacional de los trabajadores que desarrollan sus actividades, principalmente en labores subterráneas y plantas de beneficio.

Objetivo general

Realizar el modelamiento espacial del ruido ocupacional en la planta de beneficios Asunción, a fin de explicar la incidencia en la salud y seguridad de los trabajadores.

Objetivos específicos

Determinar el modelo espacial del ruido ocupacional para cuantificar la variabilidad de los niveles de ruido, la incidencia en la salud y seguridad de los trabajadores.

Estimar la edad de los trabajadores y su influencia en la salud y seguridad en el trabajo.

Establecer el tiempo de exposición y cuantificar su incidencia en la salud y seguridad de los trabajadores.

Hipótesis de la investigación

Al realizar el modelamiento espacial del ruido ocupacional, se determinará el grado en que el factor de riesgo incide en la salud y seguridad de los trabajadores de la planta de beneficio Asunción.

Hipótesis específica

Se determinará el modelo espacial del ruido ocupacional para cuantificar la variabilidad de los niveles de ruido en las áreas de trabajo de la planta de beneficio Asunción.

La edad de los trabajadores influye en la salud y seguridad en el trabajo.

Además, al cuantificar el tiempo de exposición, se determinará la incidencia en la salud y seguridad de los trabajadores de la planta de beneficio Asunción.

Sistemas de variables

Variable independiente

Las variables independientes quedan definidas en función del contexto principal de la investigación, las cuales se detallan en la Tabla 2:

Tabla 2
Variables e indicadores independientes

Variables	Indicadores
X1 = Nivel de Ruido Ocupacional	dB(A) Nivel de presión sonora expresado en decibeles bajo la curva de ponderación (A), Hz.(TLV, TWA), Valores límite permisibles, usados como referencia o criterio de acuerdo a la normatividad legal.
X2 = Edad	(años) Edad del trabajador.
X3= Tiempo de exposición	(Horas) Tiempo de exposición del trabajador durante la jornada laboral.

Variable dependiente

Las variables dependientes quedan definidas en función del contexto principal de la investigación, las cuales se detallan en la Tabla 3:

Tabla 3
Variables e indicadores dependientes

Variables	Indicadores
Y = Pérdida auditiva e incidencia en la salud y seguridad de los trabajadores de la planta de beneficio Asunción	Índice dB(A) Riesgo de exposición dB(A) Dosis de ruido diaria % Riesgo de enfermedad ocupacional % Incidencia %

Tipo de investigación

La investigación fue de carácter aplicativo, conforme a los propósitos y naturaleza de la investigación, de enfoque científico. El carácter aplicativo estuvo referido a la búsqueda de un modelo espacial del ruido ocupacional como uno de los fenómenos físicos de mayor relevancia, debido al grado de incidencia en la pérdida de la capacidad auditiva de los trabajadores de la planta de beneficio Asunción.

Nivel de investigación

El estudio se ubicó en el nivel descriptivo, explicativo y de correlación. La naturaleza descriptiva y explicativa de los diferentes eventos en cada proceso de análisis implica abordar el problema desde un punto de vista cuantitativo y cualitativo, que parte con un análisis exploratorio de datos tomados en campo y refleja la realidad in situ, bajo condiciones operativas y con tendencias hacia los modelos probabilísticos.

El análisis correlacional demostrará la robustez del modelo al correlacionar los datos reales con los datos estimados, lo que permitirá la búsqueda de escenarios que representen riesgos para cada uno de los trabajadores en sus puestos de trabajo.

Método de investigación

Método inductivo

Utiliza el razonamiento para llegar a conclusiones que parten de hechos aceptados como válidos. Se inicia con un estudio individual de los hechos antes de llegar a conclusiones universales que se proponen como leyes, principios o bases para una teoría.

Método deductivo

Esto implica llegar a conclusiones generales para explicaciones particulares. Se inicia analizando teoremas, leyes, postulados y principios de aplicación universal y verificados para aplicarlos a soluciones o hechos específicos.

Método analítico

Es un proceso cognoscitivo que implica descomponer un objeto de estudio en sus partes individuales.

Método sintético

Es un método para estudiar completamente un objeto de estudio combinando sus partes dispersas.

Método inductivo-deductivo

Se trata de una técnica que parte de afirmaciones como hipótesis y tiene como objetivo refutar o desmentir esas hipótesis, para luego sacar conclusiones que deben confrontarse con los hechos.

Método analítico-sintético

Examina los hechos dividiendo el objeto de estudio en cada uno de sus componentes para estudiarlos de manera individual (análisis) y luego combinando estas partes para estudiar el objeto de estudio de una manera más amplia e integral (síntesis).

Diseño de investigación

Diseño cuasiexperimental por objetivos, que implica el planteamiento de hipótesis alternativas que se ajusten a los datos y a los objetivos propuestos. Si bien es cierto que pueden causar una mayor generalización de los resultados, cuando se plantea un modelo basado en la data de campo, se orienta a expresar la realidad en función de las características del escenario en que se genera el cuasiexperimento.

Las limitaciones son superadas con una correcta planificación y ejecución del cuasiexperimento, que constituye la única alternativa de la investigación que aporta información confiable sobre el impacto a la seguridad y salud de los trabajadores.

El diseño de la investigación está basado en la operacionalización de las variables dependientes e independientes asociadas al flujograma del modelamiento del ruido ocupacional y al modelo de incidencia del riesgo del daño auditivo a los trabajadores de la planta de beneficio Asunción.

Población y muestra

El universo estuvo constituido por todas las minas del Perú dedicadas a la explotación y beneficio de minerales metálicos y no metálicos.

La población estuvo compuesta por todos los trabajadores de la planta de beneficio Asunción con sus dos turnos de trabajo durante del día, considerando las áreas y operaciones críticas que desarrollan en cada uno de sus puestos de trabajo.

La muestra estuvo constituida por 26 trabajadores que laboran en el primer turno, distribuidos en sus puestos de trabajo dentro del área operativa de 8947 m2, donde se monitorearon 573 datos de ruido ocupacional dentro de la Planta de Beneficio Asunción, ubicada en la cordillera central del Perú a 4500 m s. n. m.

Instrumentos de recolección de datos

Sonómetro integrador clase II

Las mediciones se efectuaron con un sonómetro integrador digital marca Quest Technologies modelo 2800, que cumple con las exigencias señaladas para el tipo 1 y 2, establecidas en las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission, IEC Standard), IEC 61672, del 2002.

Este sonómetro es de alta precisión y está diseñado como una solución avanzada para la medición, grabación y análisis de ruido ambiental y ocupacional. Además, tiene la capacidad para calcular el nivel continuo equivalente Leq. Asimismo, incorpora funciones para la transmisión de datos al ordenador, cálculo de percentiles y algunos análisis en frecuencia.

Tabla 4

Características técnicas del sonómetro integrador

Parámetros	Sonómetro tipo 2
Rango de medición	30 a 140 dB
Precisión	Alta
Lecturas	Lxyp, Lxeq, Lxymax, Lxymin, LAE, Lcpeak
Ponderación frecuencial	A/B/C
Ponderación temporal	Fast, Slow, Impulse, Peak response time
Tiempo de integración	Fijo y configurable
Rango de frecuencia	20 Hz a 16 kHz
Registrador no Dalalogger	37000
Salidas	AC y DC

El nivel por emplear es de ponderación A para determinaciones prácticas y respuestas *fast* y *slow*, cuyo comportamiento se asemeja al del oído humano. Todas las mediciones de ruido en las fuentes de generación y área operativa de cada trabajador se tomaron a 1,5 m de altura del suelo.

Sistema de posicionamiento global (GPS)

Equipo portátil marca Garmin modelo GPS map 60CSx, navegador para orientación y replanteamiento de las coordenadas en cada punto de monitoreo con lecturas en el sistema UTM WGS-84.

Materiales

Se utilizaron tableros acrílicos, cámaras fotográficas, celulares, *laptop*, programas de cómputo especializados, impresoras y materiales de oficina.

Procesamiento de recolección de datos

El monitoreo de ruido ocupacional y las horas de exposición de cada trabajador en su puesto laboral se realizó en el horario de máxima operación durante la jornada de trabajo de 07:00 a 19:00 horas, durante los meses de setiembre a noviembre del 2017, empleando las directrices de la guía de monitoreo del D. S. 024-2016-EM su modificatoria y protocolos afines para monitoreo de ruido ocupacional, mediante el siguiente procedimiento:

- El sonómetro fue colocado a una altura aproximada de 1,5 m del nivel del suelo y el ángulo formado entre el sonómetro y el plano inclinado paralelo al suelo fue entre 30 a 60 grados.
- Se colocó el sonómetro a una distancia libre mínima aproximada de 0,50 m del cuerpo del especialista.
- La frecuencia de lectura en cada uno de los puntos de monitoreo fue de una hora, tomando lecturas cada seis minutos con valores cada treinta segundos.

- Paralelamente, se realizó el conteo del flujo de tratamiento de minerales, relacionados con los puntos de medición donde se instaló el sonómetro.
- Las horas de exposición de cada trabajador se tomaron en función de la jornada laboral especial de 12 horas por turno.

La data monitoreada en campo es procesada mediante el análisis exploratorio y estructural de datos con el apoyo de los *software* Isatis, Excel, programas estadísticos y herramientas de manejo de información geográfica como ArcGIS, orientada a una descripción matemática estadística de las funciones numéricas llamadas *variables regionalizadas*, que miden los comportamientos relacionados con el fenómeno físico ocupacional, cuantificados según los niveles de ruido medidos en 573 puntos dentro del dominio o campo que representa la planta de beneficio Asunción, limitado por un área poligonal de 8947 m2.

Para aprovechar la información disponible, más allá de un simple reporte de los datos, será necesario construir modelos. El modelamiento y las hipótesis que se requieren aportan mayor información que aquella contenida en los datos experimentales; en consecuencia, conviene reducir al máximo la complejidad del modelo, evitando introducir hipótesis o parámetros arbitrarios, que no se puede controlar experimentalmente.

Para asegurar la calidad y robustez del modelo espacial es necesario estudiar la variable principal del nivel de ruido dB(A), cuya intensidad medida simula al oído humano y, previo al análisis estructural del modelo, es necesario explorar los datos disponibles con los siguientes objetivos:

- Analizar (mediante herramientas estadísticas espaciales) la cantidad, la calidad y la ubicación de los datos disponibles.
- Definir las zonas de estudio. Una división del campo en varias subzonas puede ser relevante si uno observa cambios abruptos en la distribución espacial de valores o si las características del fenómeno lo indican.

- Anticipar dificultades o problemas que puedan surgir en la fase de modelamiento espacial debido a la presencia de valores atípicos que se destacan de aquellos de los datos vecinos y que son la causa común de los errores.
- Definir la distribución estadística apropiada a la data experimental, minimizando los errores para lograr una confiabilidad mínima del 95 %.

La variable principal que se analiza está representada por el nivel sonoro continuo equivalente, LeqT, expresado en dB(A), que es el resultado de la media energética del nivel de ruido promediado en el intervalo de tiempo de una hora, con lecturas cada 30 segundos en cada punto de monitoreo, que cubren el turno de trabajo de 12 horas, en la planta de beneficio Asunción.

Resultados y análisis

Exposición de los resultados

Los resultados del modelo estimado para la planta de beneficio Asunción en función de los datos mínimos y máximos que representan las áreas coloreadas se detallan en la Tabla 5:

Tabla 5
Niveles de ruido ocupacional en la planta de beneficio

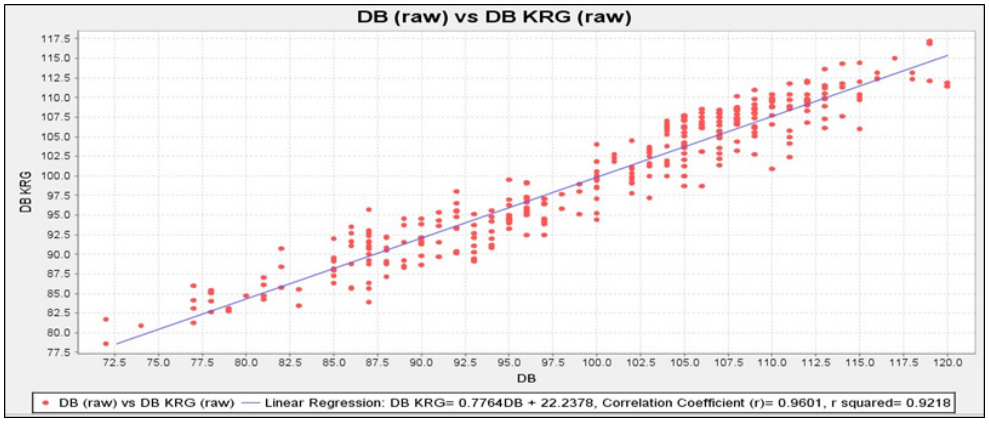
Nivel mínimo (dB)	Nivel máximo (dB)	Modelo krg (dB)
78	90	
90	95	
95	100	
100	110	
110	120	

Dispersión y correlación de datos

Los datos estimados a través del modelo espacial (kgr) de ruido ocupacional para la planta de beneficio Asunción se compararon con los valores de los niveles de ruido de las muestras reales obtenidas en el monitoreo de campo, con la finalidad de cuantificar los errores y el grado de certeza del nivel de ruido ocupacional en cada área laboral de los trabajadores, incluyendo las dosimetrías del 2017. El modelo de dispersión y correlación se muestra en la Figura 13:

Figura 13

Mapa con curvas isofónicas de los niveles de ruido ocupacional de la planta de beneficio Asunción



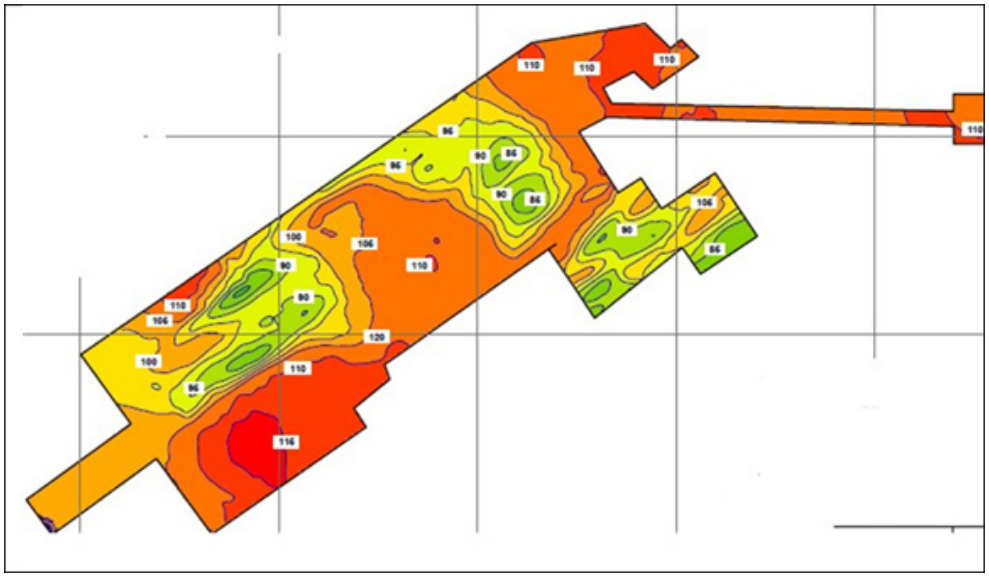
La dispersión de los valores de ruido ocupacional se concentra alrededor de la línea de tendencia con pendiente positiva y variación de errores que se encuentran dentro del rango del 5 %, con un coeficiente de correlación de 96,01 % entre muestras reales y estimadas, que prueba la bondad del modelo para reproducir los niveles de ruido ocupacional a los que están expuestos cada uno de los trabajadores de la planta de beneficio Asunción.

Curvas isofónicas para ruido ocupacional

El mapa de ruido es una representación gráfica del perfil de ruido de la planta de beneficio Asunción, en el cual los niveles sonoros se indican como curvas de nivel llamados curvas isofónicas de igual sonoridad que varían cada 5 dB de acuerdo a la escala de colores que se presenta y que fueron estimados a partir de los modelos estructurales con anisotropía geométrica, que indican la distribución espacial de los niveles de ruido ocupacional durante la jornada de trabajo.

Figura 14

Mapa con curvas isofónicas de los niveles de ruido ocupacional de la planta de beneficio de la Asunción



El mapa de ruido señala los distintos rangos de los niveles de presión sonora, indicando las áreas de baja y alta exposición (color rojo) que impactan en cada uno de los trabajadores.

Niveles de ruido en las áreas de trabajo de la planta de beneficio

De acuerdo al modelo espacial del ruido ocupacional basado en el modelo de áreas para la planta de beneficio Asunción, se determinaron los niveles máximos de ruido a plena operación de funcionamiento para una capacidad promedio de procesamiento de 2478 t/día de mineral de cabeza. El detalle de las áreas puede verse en el plano PC-02, anexo 5, y los resultados se detallan en la Tabla 6:

Tabla 6

Niveles de ruido ocupacional por áreas de trabajo

Áreas de trabajo	Número de trabajadores	Nivel máximo de ruido dB(A)
Chancadora primaria	3	110,97
Chancadora secundaria	2	111,59
Chancadora terciaria	2	109,70
Molienda	3	101,67
Celdas de flotación	6	100,60
Espesamiento y filtrado	4	105,89
Almacenamiento de concentrados	2	105,04
Oficinas	4	96,20

Los resultados de los niveles de ruido ocupacional mostrados en la tabla anterior para las diferentes áreas de trabajo de la planta de beneficio Asunción indican un riesgo muy alto (>90 dB) de daño auditivo y alteración del estado normal de salud al que están expuestos los trabajadores durante su jornada laboral, siendo las áreas de chancadora primaria, secundaria y terciaria las más críticas (>105 dB) al que ningún trabajador debe exponerse sin importar el tiempo de exposición.

Dosis de ruido en la planta de beneficio

Para determinar la exposición a ruido ocupacional de un trabajador en su área de trabajo, es necesario combinar las variables del nivel máximo de ruido presente en la planta de beneficio y el tiempo de exposición a dichos niveles de ruido. Dicha combinación permitirá saber, entre otras cosas, si el tiempo durante el cual el trabajador está expuesto al ruido (Tiempo de Exposición: Te) es mayor, menor o igual que el tiempo al que puede estar expuesto a dicho ruido (Tiempo Permitido: Tp), este último regulado por el D.S. 024-2016.EM.

La Dosis de Ruido Diaria (DRD) es un parámetro que permite relacionar el Nivel de ruido en un puesto de trabajo (NPS), con su correspondiente Tiempo Permitido (Tp) y con el Tiempo de Exposición a ruido del trabajador (Te). Se define como la relación entre el Tiempo de Exposición (Te) a un determinado Nivel de ruido y el Tiempo Permitido (Tp) para que el trabajador permanezca expuesto al Nivel de ruido sin riesgo de pérdida auditiva.

La metodología de cálculo está expuesta en la guía N.° 1 del D. S. 024-2016-EM de cuya aplicación, y considerando el caso de nivel de ruido ocupacional puro, obtenemos los tiempos de exposición permitidos y las dosis correspondientes expresadas en porcentaje (%). Los resultados se detallan en la Tabla 7:

Tabla 7

Dosis a niveles de ruido ocupacional puro

Áreas	Horas de exposición máxima/ turno	Nivel de ruido puro(dB)	Tiempo de exposición (horas)	% Dosis
Chancadora primaria	7	110,97	0,25	
Chancadora secundaria	8	111,59	0,25	

Áreas	Horas de exposición máxima/ turno	Nivel de ruido puro(dB)	Tiempo de exposición (horas)	% Dosis
Chancadora terciaria	7	109,70	0,25	
Molienda	8	101,67	0,25	
Celdas de flotación	9	100,60	0,25	>100 % (No permitido)
Espesamiento y filtrado	8	105,89	0,25	
Almacenamiento de concentrados	8	105,04	0,25	
Oficina supervisores	8	96,20	0,60	
Oficina electricistas	6	96,20	0,60	

Las dosis diarias calculadas sobrepasan el 100 % en todas las áreas de trabajo de la planta de beneficio, lo que implica que ningún trabajador debe exponerse a niveles de ruido ocupacional puro. La empresa debe establecer como medida de control preventiva el uso obligatorio de protección auditiva.

Durante el proceso operacional se ha observado que los trabajadores usan protectores auditivos tipo tapón Ultrafit premoldeables al conducto auditivo y protectores auditivos pasivos tipo orejeras acoplados al casco, en ambos con NRR (noise rate reduction), que permiten una taza de atenuación o reducción de 25 dB en promedio.

Asimismo, los trabajadores de la planta beneficio Asunción realizan sus labores a plena capacidad operativa y con el uso de protectores auditivos, siendo este el escenario real, por lo que se procedió a calcular la dosis para un nivel de ruido residual atenuado en 25 dB. Los resultados se detallan en la Tabla 8:

Tabla 8

Dosis a niveles de ruido residual con protección auditiva

Áreas	Horas de exposición máxima/ turno	Nivel de ruido residual (dB)	Tiempo de exposición (horas)	% Dosis
Chancadora primaria	7	85,97	6,39	109,48
Chancadora secundaria	8	86,59	5,54	144,39
Chancadora terciaria	7	84,70	8,57	81,64
Molienda	8	76,67	16,00	50,00
Celdas de flotación	9	75,60	16,00	56,25
Espesamiento y filtrado	8	80,89	16,00	50,00
Almacenamiento de concentrados	8	80,04	16,00	50,00
Oficina supervisores	8	71,20	16,00	50,00
Oficina electricistas	6	71,20	16,00	37,50

De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla anterior, podemos observar que las dosis calculadas para las áreas de chancadora primaria y secundaria sobrepasan los valores máximos permitidos de acuerdo al D. S. 024-2016-EM y devienen en áreas críticas de alta incidencia en la salud y seguridad de los trabajadores con riesgos de pérdida auditiva y desplazamiento del umbral con incremento del mínimo nivel de presión sonora audible, cuyos efectos son extensibles a la chancadora terciaria donde el personal recibe una dosis del 81,64 %, caracterizada como de alto impacto en el deterioro de la capacidad auditiva.

En las áreas restantes, los trabajadores están expuestos a dosis que varían de 37,50 dB a 56,25 dB de menor impacto en el deterioro de la capacidad auditiva; sin embargo, la exposición continuada a través del tiempo repercute en la pérdida gradual y desplazamiento del umbral auditivo.

Riesgo de daño auditivo

El daño auditivo inducido por ruido representa una lesión irreversible causada por elevados niveles de presión sonora existentes en la planta de beneficio, además, es la patología ocupacional más frecuente que afecta al trabajador, por lo que en función del modelo de pérdida auditiva se ha calculado el riesgo de daño auditivo, considerando los años y exposición a ruido. Los resultados se detallan en la Tabla 9:

Tabla 9

Riesgo de daño auditivo (dB)

	Años de exposición al ruido ocupacional					
Lectura de Exposición 12 h Trabajo/Turno	2 años	5 años	10 años	20 años	30 años	40 años
Normal	8,24	10,26	13,63	20,38	27,12	33,87
85 dB	9,16	11,18	14,55	21,30	28,04	34,78
90 dB	9,62	11,64	15,01	21,76	28,50	35,24
95 dB	10,08	12,10	15,47	22,22	28,96	35,70
100 dB	10,54	12,56	15,93	22,68	29,42	36,16
105 dB	11,00	13,02	16,39	23,13	29,88	36,62
110 dB	11,46	13,48	16,85	23,59	30,34	37,08
115 dB	11,91	13,94	17,31	24,05	30,80	37,54

Los trabajadores expuestos a ruido ocupacional durante dos años experimentaron cambios en el umbral de la audición con pérdidas de 8,24 dB a 11,91 dB. En cinco años, la pérdida de la audición varía entre 10,26 dB 13,94 dB, y en los años sucesivos, hasta los 40 años, las pérdidas auditivas varían entre 33,87 dB y 37,54 dB, alterando la pérdida de la facultad no solo para oír, sino también para comprender la voz hablada en las condiciones habituales de trabajo.

Estas pérdidas auditivas permiten clasificar el tipo de daño auditivo en relación con el grado de alteración y probabilidad de desarrollar la enfermedad ocupacional de hipoacusia, con pérdida conversacional, por lo que se consideraron tres niveles de incidencia en hipoacusia: leve, moderada y severa.

Hipoacusia leve

El nivel de hipoacusia leve que un trabajador puede oír con el mejor oído está entre 21 dB y 40 dB de exposición a ruido que implica la alteración de la comunicación en sus áreas de trabajo. Para cuantificar la probabilidad de contraer la enfermedad ocupacional de hipoacusia leve, se consideró el valor máximo de 40 dB de pérdida auditiva, que representa, en el peor de los casos, el escenario crítico para los trabajadores de la planta de beneficio Asunción. Los resultados se detallan en la Tabla 10:

Tabla 10

Riesgo de contraer hipoacusia leve

Lectura de Exposición 12 h Trabajo/Turno	Años de Exposición al Ruido Ocupacional					
	2 años	5 años	10 años	20 años	30 años	40 años
Normal	21 %	26 %	34 %	51 %	68 %	85 %
85 dB	23 %	28 %	36 %	53 %	70 %	87 %

Lectura de Exposición 12 h Trabajo/Turno	Años de Exposición al Ruido Ocupacional					
	2 años	5 años	10 años	20 años	30 años	40 años
90 dB	24 %	29 %	38 %	54 %	71 %	88 %
95 dB	25 %	30 %	39 %	56 %	72 %	89 %
100 dB	26 %	31 %	40 %	57 %	74 %	90 %
105 dB	27 %	33 %	41 %	58 %	75 %	92 %
110 dB	29 %	34 %	42 %	59 %	76 %	93 %
115 dB	30 %	35 %	43 %	60 %	77 %	94 %

Los trabajadores expuestos a ruido ocupacional en la planta de beneficio durante los dos primeros años experimentan riesgos de contraer hipoacusia leve entre el 21 % y el 30 %. En cinco años, el riesgo aumenta variando entre el 26 % y el 35 %; en los siguientes 40 años, entre 85 % y 94 %, alterando la pérdida de la facultad no solo para oír, sino también para comprender la voz hablada y manifestaciones de advertencia para su seguridad en sus áreas de trabajo.

Hipoacusia moderada

El nivel de hipoacusia moderada que un trabajador puede oír con el mejor oído está entre 41 y 55 dB de exposición a ruido ocupacional, que implica la alteración de la comunicación en sus áreas de trabajo. Para cuantificar la probabilidad de contraer la enfermedad ocupacional de hipoacusia moderada, se consideró el valor máximo de 55 dB de pérdida auditiva, que representa, en el peor de los casos, el escenario más crítico para los trabajadores de la planta de beneficio Asunción. Los resultados se detallan en la Tabla 11:

Tabla 11

Riesgo de contraer hipoacusia moderada

Lectura de Exposición 12 h Trabajo/Turno	Años de Exposición al Ruido Ocupacional					
	2 años	5 años	10 años	20 años	30 años	40 años
Normal	15%	19%	25%	37%	49%	62%
85 dB	17%	20%	26%	39%	51%	63%
90 dB	17%	21%	27%	40%	52%	64%
95 dB	18%	22%	28%	40%	53%	65%
100 dB	19%	23%	29%	41%	53%	66%
105 dB	20%	24%	30%	42%	54%	67%
110 dB	21%	25%	31%	43%	55%	67%
115 dB	22%	25%	31%	44%	56%	68%

Los trabajadores expuestos a ruido ocupacional en la planta de beneficio durante los dos primeros años experimentaron riesgos de contraer hipoacusia moderada entre el 15 % y el 22 %. En cinco años, el riesgo aumenta variando entre el 19 % y el 25 %; en los siguientes 40 años, entre 62 % y 68 %, alterando la pérdida de la facultad de la comunicación y requiriendo el uso de audífonos.

Hipoacusia severa

El nivel de hipoacusia severa que un trabajador puede oír con el mejor oído está entre 71 dB y 90 dB de exposición a ruido ocupacional, que implica la alteración de la comunicación en sus áreas de trabajo. Para cuantificar la probabilidad de contraer la enfermedad ocupacional de hipoacusia moderada, se consideró el valor máximo de 90 dB de pérdida auditiva, que representa, en el peor de los casos, el escenario más crítico para los trabajadores de la planta de beneficio Asunción. Los resultados se detallan en la Tabla 12:

Tabla 12

Riesgo de contraer hipoacusia severa

Lectura de Exposición 12 h Trabajo/Turno	Años de Exposición al Ruido Ocupacional					
	2 años	5 años	10 años	20 años	30 años	40 años
Normal	9%	11%	15%	23%	30%	38%
85 dB	10%	12%	16%	24%	31%	39%
90 dB	11%	13%	17%	24%	32%	39%
95 dB	11%	13%	17%	25%	32%	40%
100 dB	12%	14%	18%	25%	33%	40%
105 dB	12%	14%	18%	26%	33%	41%
110 dB	13%	15%	19%	26%	34%	41%
115 dB	13%	15%	19%	27%	34%	42%

Los trabajadores expuestos a ruido ocupacional en la planta de beneficio durante los dos primeros años experimentan riesgos de contraer hipoacusia severa entre el 9 y el 13 %. En cinco años, el riesgo aumenta variando entre el 11 % y el 15 %; en siguientes 40 años, entre 38 % y 42 %, alterando la pérdida de la facultad de la comunicación con severos daños auditivos y requiriendo el uso de audífonos potentes, lenguaje de señas y lectura de labios.

Incidencia en las áreas de trabajo

De acuerdo al estado actual con protección auditiva y bajos riesgos residuales de operación en la planta de beneficio, se ha considerado la edad y la antigüedad promedio expresado en años de los trabajadores en cada área de trabajo y, con base en el modelo de pérdida auditiva, se ha calculado el daño auditivo y su incidencia de contraer enfermedad ocupacional de hipoacusia. Los resultados se detallan en la Tabla 13:

Tabla 13

Incidencia de pérdida auditiva por áreas de trabajo

	Edad (años)	Antigüedad (años)	N.° T/g	Ruido (dB)	(dB) HL	(%)	HS(%)
Chancadora Primaria	35	4	3	85,97	10,60	26%	12%
Chancadora Secundaria	32	4	2	86,59	10,65	27%	12%
Chancadora Terciaria	37	7	2	84,70	12,50	31%	14%
Molienda	38	5	3	76,67	10,42	26%	12%
Celdas de Flotación	36	7	6	75,60	11,67	29%	13%
Espesamiento y Filtrado	32	5	4	80,89	10,80	27%	12%
Almacenamiento deConcentrados	31	4	2	80,04	10,05	25%	11%
Oficina Supervisores	39	5	2	71,20	9,91	25%	11%
Oficina Electricistas	32	3	2	71,20	8,56	21%	10%

Los resultados de la tabla anterior indican las pérdidas auditivas e incidencias de contraer hipoacusia leve (HL) y severa (HS) referenciados a cada área de trabajo, con daños auditivos que varían de 8,56 dB (oficina de electricistas), que representa una incidencia de HL del 21 % y HS del 10 %. El 12,50 dB (chancadora terciaria) representa una incidencia de HL del 31 % y HS del 14 %. En general, los trabajadores de la planta de beneficio Asunción experimentaron en promedio una pérdida auditiva de 10,57 dB con incidencias de HL de 26,43 % y HS de 11,74 %. Los detalles pueden verse en el plano de incidencias PC-04.

Estas incidencias afectan a los trabajadores que ven disminuir su percepción auditiva, alterando la comunicación, lenguaje y comportamiento, los

cuales comprometen la seguridad de los trabajadores debido a la dificultad para escuchar alarmas, advertencias y avisos, y la generación de distracciones durante la actividad laboral que pueden provocar actos inseguros y accidentes de trabajo.

Incidencia en los trabajadores

El grupo de exposición está constituido por 26 trabajadores cuyas edades varían de 25 a 45 años, representando un promedio de 35 años para la planta de beneficio Asunción, con exposición a ruido ocupacional entre 2 a 10 años en condiciones de riesgo laboral. Para ello se han calculado las dosis, la pérdida auditiva y la incidencia de contraer hipoacusia. Los resultados se detallan en la tabla 13.

De acuerdo a los resultados de tabla anterior, tres trabajadores están expuestos a dosis diarias de ruido ocupacional que varían de 108,29 % a 144,39 %, superando los límites máximos permisibles señalados en el D. S. 024-2016 EM, con graves riesgos de daño auditivo. Para contrarrestar ello, la empresa deberá tomar las medidas técnicas más apropiadas de acuerdo con la jerarquía de controles para remediar la sobredosis detectada y evitar los daños auditivos a los trabajadores.

Tabla 14

Incidencia de pérdida auditiva en los trabajadores

Fidel Mamani Ontario	36	4	125,12	13	14	32,5	35
Hernán Villanueva Cáceres	37	3	109,48	12	26	30	65
Fidel Mamani Ramos	32	4	144,39	13	19	32,5	47,5
Porfirio Salinas Roque	31	4	108,29	13	20	32,5	50
Melitón Peralta Zúñiga	28	5	81,64	13	14	32,5	35
Lorenzo Mamani Quispe	45	8	58,31	15	30	37,5	75
Modesto Salamanca Anquise	36	4	50,00	12	23	30	57,5

Roberto Soto Portugal	38	4	37,50	12	23	30	57,5
Yony Laurencio Pilco	40	5	31,25	13	12	32,5	30
Serafín Sarmiento Atencio	28	3	37,50	11	17	27,5	42,5
Genaro Quispe Perca	35	7	31,25	14	17	35	42,5
Anacleto Loza Fernacez	30	5	37,50	13	8	32,5	20
Porfirio Cuaquira Lazo	45	10	43,75	16	18	40	45
Carmelo Díaz Sosa	40	7	56,25	14	10	35	25
Pedro Urrutia Quispe	35	6	50,00	13	9	32,5	22,5
Renzo Mamani Mamani	25	3	37,50	12	12	30	30
Lot Larico Capia	28	4	43,75	12	14	30	35
Sabino Quenta Calizaya	45	8	31,25	15	26	37,5	65
Cirilo López Arcaya	27	2	50,00	11	10	27,5	25
Donato Quispe Mamani	26	3	50,00	12	14	30	35
Javier Saldaña Perca	35	5	43,75	13	13	32,5	32,5
Adolfo Mansilla Cueto	33	4	50,00	12	12	30	30
Martín Paria Muñoz	45	6	25,00	13	15	32,5	37,5
Daniel Chambe Rojas	29	2	37,50	10	8	25	20
Salomón Roque Mamani	35	4	25,00	12	12	30	30

Las pérdidas auditivas calculadas mediante el modelo de tendencia y las pruebas audiométricas efectuadas a cada trabajador evidencian siete casos nuevos de alto riesgo de contraer hipoacusia con una incidencia del 30 %. A este grupo de riesgo se le debe hacer un seguimiento y control exhaustivo sobre las condiciones de trabajo y pérdida auditiva para determinar el grado de hipoacusia y su incorporación a un programa de conservación auditiva (PCA).

Durante el desempeño de las actividades operacionales con ruidos ocupacionales que varían entre 96,20 dB y 111,59 dB, que determinan un promedio de 103,9 dB en la planta de beneficio, se ha observado que los

trabajadores tienen dificultad para entablar una comunicación, además de oír y comprender las emisiones de los sistemas de alarma y advertencia, que comprometen la seguridad de los trabajadores, provocando riesgos de accidentes por actos inseguros y distracciones en su actividad laboral.

Análisis de los resultados de investigación y contraste de hipótesis general y específicas

El contraste de hipótesis, también denominado test de hipótesis o prueba de significación, es un procedimiento que permite evaluar y tomar decisiones de rechazo o aceptación acerca de las hipótesis nulas y alternativas consideradas en esta investigación, cuyo resumen, incluyendo las variables, se presentan en las tablas 14 a 23.

Tabla 15

Hipótesis planteadas

Tipo	Hipótesis	H0	H1
General	Existe relación entre el ruido ocupacional y laincidencia en la salud y seguridad de los trabajadores de la planta de beneficio Asunción.	R de X1, X3 y X4 Ho: B≠1	R de X1, X3 y X4 H1: =1
Específico 01	Existe relación entre la variabilidad de los nivelesdel ruido ocupacional y la salud y seguridad de los trabajadores.	R de X1 y X4 Ho: B≠1	R de X1 y X4 H1: B=1
Específico 02	Existe relación entre las edades de los trabajadoresy la salud y seguridad de los trabajadores de la planta de beneficio Asunción.	R de X2 y X4 Ho: B≠1	R de X2 y X4 H1: B=1
Específico 03	Existe relación entre el tiempo de exposición y laincidencia en la salud y seguridad de los trabajadores de la planta de beneficio Asunción.	R de X3 y X4 Ho: B≠1	R de X3 y X4 H1: B=1

Tabla 16.
Tipo de variables

Tipo	Variables	Representación
Independiente	Nivel de ruido ocupacional Edad del trabajador Años de exposición en la planta	X1 X2 X3
Dependiente	Incidencia en la salud y seguridad de los trabajadores de la planta	X4
	de beneficio Asunción	

Prueba de hipótesis específica 1

Formulación de la hipótesis

La formulación de la hipótesis específica 1, de acuerdo a los criterios estadísticos y considerando las variables X1 y X4, se detalla en la Tabla 17:

Tabla 17
Hipótesis específica 1

Hipótesis	Hipótesis Nula	Hipótesis Alterna
Existe relación entre la variabilidad de los niveles del ruido ocupacional y la salud yseguridad de los trabajadores.	R de X1 y X4 Ho: B≠1	R de X1 y X4 H1: B=1

Ho: no existe relación entre la variabilidad de los niveles del ruido ocupacional y la salud y seguridad de los trabajadores.

H1: existe relación entre la variabilidad de los niveles del ruido ocupacional, la salud y seguridad de los trabajadores.

Fijación del nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Estadístico de prueba: prueba no paramétrica de Chi-cuadrado (X^2), cuyos resultados se presentan en la Tabla 18:

Tabla 18

Resultados prueba Chi-cuadrado 01

Pruebas de Chi - Cuadrado			
	Valor	Df	Significaciónasintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	42,000[a]	36	0,022
Razón de verosimilitud	27,243	36	0,853
Asociación lineal por lineal	5,010	1	0,025
N de casos válidos	7		

Nota: 49 casillas (100,0 %) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 14.

Decisión

Regla de decisión: si $\rho < 0,05$, entonces, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Prueba de independencia: si X^2(prueba) > X^2(tabla), entonces, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

De la Tabla 18 se observa que $\rho = 0,022$ es menor que 0,05, por lo que se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alternativa (H1).

Asimismo, se observa que X^2(prueba) = 42,000 es mayor a X^2(tabla) = 2,5916, lo que implica una dependencia de valores.

Discusión

Tomando el nivel de significancia de 0,05 equivalentes a considerar el intervalo de confianza con una probabilidad del 95 % de la distribución de datos normales, resulta el valor de 0,022 menor al nivel de significancia asumido, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, comprobándose que existe relación entre la variabilidad de los niveles de ruido ocupacional (variable X1) y la salud y seguridad de los trabajadores (variable X4) de la planta de beneficio Asunción.

De la prueba de independencia, el X2(42,000) es mayor que X2(12,5916), por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, comprobándose la dependencia de valores entre la variabilidad de los niveles del ruido ocupacional (variable X1) y la salud y seguridad de los trabajadores (variable X4), cuya correlación llega al 96,6 %.

Prueba de hipótesis específica 2

Formulación de la hipótesis

La formulación de la hipótesis específica 2, de acuerdo a los criterios estadísticos y considerando las variables X2 y X4, se detalla en la Tabla 19:

Tabla 19
Hipótesis específica 2

Hipótesis	Hipótesis nula	Hipótesis alterna
Existe relación entre las edades de los trabajadores y la salud y seguridad de los trabajadores de la planta de beneficio Asunción.	R de X2 y X4 Ho: B≠1	R de X2 y X4 H1: B=1

Ho: no existe relación entre las edades de los trabajadores y la salud y seguridad de los trabajadores de la planta de beneficio Asunción.

H1: existe relación entre las edades de los trabajadores y la salud y seguridad de los trabajadores de la planta de beneficio Asunción.

Fijación del nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Estadístico de prueba: prueba no paramétrica de Chi-cuadrado (X^2), cuyos resultados se presentan en la Tabla 20:

Tabla 20

Resultados prueba Chi-cuadrado 2

Pruebas de Chi-cuadrado			
	Valor	Df	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	35,000[a]	30	0,024
Razón de verosimilitud	24,470	30	0,750
Asociación lineal por lineal	3,513	1	0,061
N.° de casos válidos	7		

Nota. 42 casillas (100,0 %) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 14.

Decisión

Regla de decisión: si $\rho < 0,05$, entonces, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Prueba de independencia: si X^2(prueba) > X^2(tabla), entonces, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

De la tabla 20 se observa que $\rho = 0,024$ es menor que 0,05, por lo que se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alternativa (H1).

Asimismo, se observa que X^2 (prueba) = 35,000 es mayor que X^2 (tabla) = 12,5916, lo que implica una dependencia de valores.

Discusión

Tomando el nivel de significancia de 0,05 equivalente a considerar el intervalo de confianza con una probabilidad del 95 % de la distribución de datos normales, resulta el valor de 0,024 menor que el nivel de significancia asumido, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, comprobándose que existe relación entre las edades de los trabajadores (variable X2) y la salud y seguridad de estos (variable X4) de la planta de beneficio Asunción.

De la prueba de independencia, el X2(35,000) es mayor que X2(12,5916), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, comprobándose la dependencia de valores entre las edades de los trabajadores (variable X2) y la salud y seguridad de los trabajadores (variable X4), cuya correlación llega al 89,3 %.

Prueba de hipótesis específica 3

Formulación de la hipótesis

La formulación de la hipótesis específica 3, de acuerdo a los criterios estadísticos y considerando las variables X3 y X4, se detalla en la Tabla 21:

Tabla 21
Hipótesis especifica 3

Hipótesis	Hipótesis nula	Hipótesis alterna
Existe relación entre los años de exposición y la incidencia en la salud y seguridad de los trabajadores de la planta de beneficio Asunción.	R de X3 y X4 Ho: B≠1	R de X3 y X4 H1: B=1

Ho: no existe relación entre los años de exposición y la incidencia en la

salud y seguridad de los trabajadores de la planta de beneficio Asunción.

H1: existe relación entre los años de exposición y la incidencia en la salud y seguridad de los trabajadores de la planta de beneficio Asunción.

Fijación del nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Estadístico de prueba: prueba no paramétrica de Chi-cuadrado (X^2), cuyos resultados se presentan en la Tabla 22:

Tabla 22

Resultados prueba Chi-cuadrado 3

Pruebas de chi-cuadrado			
	Valor	Df	Significaciónasintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	35,000[a]	30	0,0243
Razón de verosimilitud	24,470	30	0,750
Asociación lineal por lineal	5,122	1	0,024
N de casos válidos	7		

Nota: 42 casillas (100,0 %) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 14.

Decisión

Regla de decisión: si $\rho < 0,05$, entonces, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Prueba de independencia: si X^2(prueba) > X^2(tabla), entonces, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

De la tabla 22 se observa que $\rho = 0,0243$ es menor que 0,05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alternativa (H1).

Asimismo, se observa que X^2(prueba) = 35,000 es mayor que X^2(tabla) = 12,5916, lo que implica una dependencia de valores.

Discusión

Tomando el nivel de significancia de 0,05, equivalente a considerar el intervalo de confianza con una probabilidad del 95 % de la distribución de datos normales, resulta el valor de 0,0243, menor que el nivel de significancia asumido, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, comprobándose que existe relación entre los años de exposición (variable X3) y la incidencia en la salud y seguridad de los trabajadores (variable X4) de la planta de beneficio Asunción.

De la prueba de independencia, el X^2(35,000) es mayor que X^2(12,5916), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, comprobándose la dependencia de valores entre los años de exposición (variable X3) y la incidencia en la salud y seguridad de los trabajadores (variable X4), cuya correlación llega al 94,5 %.

Prueba de hipótesis general

Formulación de la hipótesis

La formulación de la hipótesis general, de acuerdo a los criterios estadísticos y considerando las variables X4' y X4, se detallan en la Tabla 23:

Tabla 23

Hipótesis general

Hipótesis	Hipótesis nula	Hipótesis alterna
Existe relación entre el ruido ocupacional y la incidencia en la saludy seguridad de los trabajadores de la planta de beneficio Asunción.	X4' = f (X1, X3) R de X4 y X4' Ho: B≠1	X4' = f (X1, X3) R de X4 y X4' Ho: B=1

Ho: no existe relación entre el ruido ocupacional y la incidencia en la salud y seguridad de los trabajadores de la planta de beneficio Asunción.

H1: existe relación entre el ruido ocupacional y la incidencia en la salud y seguridad de los trabajadores de la planta de beneficio Asunción.

Fijación del nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Estadístico de prueba: prueba no paramétrica de Chi-cuadrado (X2), cuyos resultados se presentan en la Tabla 24:

Tabla 24

Resultados prueba Chi-cuadrado hipótesis general

Pruebas de Chi-cuadrado			
	Valor	Df	Significaciónasintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	149, 625a	135	0,0184
Razón de verosimilitud	75,845	135	1,000
Asociación lineal por lineal	3,262	1	0,071
N de casos válidos	19		

Nota: 160 casillas (100,0 %) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 05.

Decisión

Regla de decisión: si $\rho < 0,05$, entonces, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Prueba de independencia: si X^2(prueba) > X^2(tabla), entonces, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

De la tabla 24 se observa que $\rho = 0,0184$ es menor que 0,05, por lo tanto,

se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alternativa (H1).

Asimismo, se observa que X^2(prueba) = 149,625 es mayor que X^2(tabla) = 30,1435, lo que implica una dependencia de valores.

Discusión

Tomando el nivel de significancia de 0,05, equivalente a considerar el intervalo de confianza con una probabilidad del 95 % de la distribución de datos normales, resulta el valor de 0,0184, menor que el nivel de significancia asumido, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, comprobándose que existe relación entre el ruido ocupacional (variable X4') y la incidencia en la salud y seguridad de los trabajadores (variable X4) de la planta de beneficio Asunción.

De la prueba de independencia, el X^2(149,625) es mayor que X^2(30,1435), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, comprobándose la dependencia de valores entre el ruido ocupacional (variable X4') y la incidencia en la salud y seguridad de los trabajadores (variable X4), cuya correlación llega al 97,7 %, demostrándose la aceptación de las hipótesis específicas alternas, las cuales validan la hipótesis general alterna.

Conclusiones

La presente investigación se basó en un enfoque científico del ruido ocupacional y la teoría espacial de las variables regionalizadas aplicado a las condiciones de trabajo y exposición de los trabajadores en sus puestos de trabajo, con pérdidas auditivas irreversibles.

La data real de 573 muestras fue obtenida a través de un monitoreo de campo y distribuida en un polígono irregular con área de 8947 m^2, que forma la planta de beneficio Asunción. Esta data determinó los niveles de ruido ocupacional como factor de riesgo laboral.

El análisis exploratorio estadístico y estructural de datos, validado por la prueba de hipótesis del test Chi-cuadrado (X^2) con tendencia a una distribución normal o de Gauss, determinó un modelo espacial anisotrópico con variogramas experimentales que se ajustan a funciones de tipo esférico y exponencial, donde el vector de desplazamiento h toma las direcciones espaciales de N36°, N126°, N54° y N144°, respectivamente.

La validación de los modelos espaciales se realizó empleando la técnica de validación cruzada entre muestras reales y estimadas, obteniéndose para la familia G-1 una correlación del 81,2 %, con una media de 0,0179 dB y desviación estándar de 1,21 dB; para la familia G-2, una correlación de 80,9 %, media de -0,0254 dB y desviación estándar de 0,91 dB. Estos resultados están de acuerdo a los criterios que validan los respectivos modelos.

El modelo de áreas con soporte de 1 x 1 m^2 acorde a la realidad física de cada puesto de trabajo determinó a nivel local una variabilidad de los niveles de ruido representado por el mapa de curvas isofónicas, cuantificándose en cada área de trabajo el nivel máximo de ruido puro que varía de 96,20 dB(A) en las oficinas a 111,59 dB(A) en la chancadora secundaria, al que están expuestos los trabajadores durante su jornada laboral.

Las dosis de ruido diarias sobrepasan el 100 % en todas las áreas de los puestos de trabajo, superando los límites máximos indicados en el D. S. 024-2016-EM y su modificatoria.

Los niveles de ruido ocupacional atenuado en 25 dB con protección auditiva obligatoria, determinaron la dosis de ruido diaria por debajo del 100 %, excepto en las áreas de chancadora primaria, que resultó con dosis del 109,48 dB, y en la secundaria, con dosis del 144,39 dB, que devienen en áreas críticas de alta incidencia en la salud y seguridad de los trabajadores con riesgos de daño auditivo.

El modelo de pérdida auditiva sustentado en la data del monitoreo de campo, modelos espaciales, controles audiométricos y tiempo de exposición

de los trabajadores, mediante un análisis multivariable, determinó un modelo válido con coeficientes de 0,67 para el tiempo de exposición y 0,09 para el ruido ocupacional, con una correlación de ajuste del 93,45 % y error típico de 0,573 dB. La incidencia de la pérdida auditiva en cada puesto de trabajo varía de 8,56 dB (oficinas) a 12,50 dB (chancadora), con riesgo de contraer hipoacusia del 21 % y 31 %, respectivamente.

El análisis para el grupo de exposición, en las condiciones actuales determinó que tres trabajadores están expuestos a dosis de ruido ocupacional que varían de 108,29 % a 144,39 %, superando los límites máximos permisibles señalados en el D. S. 024-2016 EM y su modificatoria, con graves riesgos de daño auditivo.

Las pérdidas auditivas calculadas mediante el modelo de tendencia y las pruebas audiométricas efectuadas a cada trabajador, evidencian siete casos nuevos de alto riesgo de contraer hipoacusia, con una incidencia del 30 %.

A nivel general, la pérdida de la capacidad auditiva de los trabajadores afecta el nivel de comunicación, comportamiento y estabilidad emocional que compromete la salud y seguridad en el trabajo, provocando riesgos de accidentes por actos inseguros y distracciones en su actividad laboral.

El contraste de las hipótesis demuestra la validez de las hipótesis planteadas y el cumplimiento de objetivos.

Recomendaciones

Considerar los resultados de la presente investigación como instrumento de gestión y prevención de riesgos laborales, debido a la exposición de los trabajadores a ruido ocupacional en sus diversas áreas y puestos de trabajo.

Asimismo, elaborar un plan de gestión, control y prevención de los altos niveles de ruido ocupacional de la planta de beneficio Asunción, priorizando las áreas críticas determinadas en el presente estudio.

Por otra parte, enriquecer la data experimental con nuevos monitoreos de campo con la finalidad de actualizar la eficiencia de los modelos espaciales y de pérdida de la capacidad auditiva en la caracterización del ruido ocupacional y daños auditivos que afectan a la salud y seguridad de los trabajadores.

La empresa deberá tomar las medidas técnicas más apropiadas de acuerdo a la jerarquía de controles para remediar la sobredosis detectada en los trabajadores y evitar los daños auditivos con riesgos de enfermedad ocupacional.

Además, se debe realizar un seguimiento y control periódico a los trabajadores, evaluando las condiciones de trabajo, tiempos de exposición y pérdidas auditivas para determinar el grado de hipoacusia y su incorporación al programa de conservación auditiva (PCA).

Por último, implementar un programa de capacitación y sensibilización en prevención de salud y seguridad por exposición a factores de riesgo de ruido ocupacional y pérdida y desplazamiento del umbral de la audición para todos los trabajadores de la planta de beneficio Asunción.

CAPÍTULO V

ALCANCES FINALES SOBRE LA RELACIÓN ENTRE EL RUIDO OCUPACIONAL, LA SALUD Y SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES

Muchos pueden ser los riesgos a los que un trabajador puede estar expuesto, desde una simple o eventual fractura hasta perder la vida. Sin embargo, la mayoría de estas situaciones no se observan de manera directa o inmediata, ya que no siempre es posible determinar qué tan peligrosa puede ser la exposición frecuente hacia una labor específica. Como consecuencia, luego de transcurridos algunos años, estos males se manifiestan, generando no solo malestar, sino también enfermedades o dolencias permanentes y constantes. En ese aspecto:

> Varias son las situaciones en que el trabajador no nota la evolución de su enfermedad relacionada al trabajo, perdiendo la eficiencia en el rendimiento laboral, casos en que ocurren los aumentos sintomáticos de faltas y retiros temporales, llegando al extremo de jubilaciones por invalidez en personas relativamente jóvenes. Eso es una carga antieconómica que puede ser evitada con el chequeo de la salud del empleado, a través del conocimiento de los riesgos

> ambientales locales, buscando opciones de bloqueo para los riesgos, cuyos hechos ocurrieron probablemente por encima de los límites permisibles. (Ganime et al., 2010, p. 2)

Por lo tanto, es indudable que la exposición frecuente y constante a elevados niveles de ruido ocasiona desgaste en la capacidad auditiva del trabajador, al mismo tiempo que afecta a otros órganos, efectos que reducen la calidad de vida del trabajador.

Por ejemplo, cada día el sector minero incorpora, como parte de su avance, nuevas y sofisticadas tecnologías con el fin de incrementar sus ganancias; sin embargo, estas tecnologías suelen aumentar el riesgo de accidentes y enfermedades en el campo laboral.

Por ello, el ruido constituye uno de los problemas de mayor presencia en el ámbito laboral y ocupacional. Debido a este panorama, en Latinoamérica se han creado normativas que han permitido su regulación, pero algunas naciones de la región aún no han incorporado de forma simétrica tales disposiciones, dejando al margen a un sinnúmero de trabajadores que en la actualidad laboran en las minas tanto en espacios cerrados como abiertos.

Algunas regulaciones contempladas incluyen la creación de comités de protección y control hasta mecanismos de atención para aquellos trabajadores que sufran algún tipo de accidente dentro de su centro laboral. Por otro lado, también existen experiencias desfavorables y preocupantes, que suelen dejar de lado a los trabajadores, generando un conjunto de situaciones críticas, además de alarmantes. Muchos países de la región aún no han adoptado estas regulaciones, lo cual genera que muchos de los trabajadores pierdan la audición y se encuentren desprotegidos ante este problema, como consecuencia de la falta de políticas adecuadas para protegerse de enfermedades. Esta situación toca muy de cerca al Perú, puesto que las leyes sobre lo debatido aún son escasas e inexistentes en la práctica. Solo en el 2005, la regulación tanto de la salud como de la seguridad laboral entró

en vigencia bajo el Decreto Supremo N.o 009-2005-TR (52), el cual fue revisado y modificado cinco años después.

Tal regulación tuvo como centro de interés promover una cultura de prevención de riesgos en la nación, estableciendo en su conjunto una serie de responsabilidades, así como de obligaciones tanto para los trabajadores como para sus empleadores, además de establecer normas no solo de seguridad, sino también de higiene.

Acerca del ruido ocupacional y la salud de los trabajadores

Cada vez es más frecuente en los ambientes laborales la pérdida de la audición de los trabajadores. Esta afección se denomina hipoacusia laboral, puesto que se da principalmente en aquellos ambientes donde el trabajador realiza sus labores. Buena parte de la pérdida de la audición no suele mencionarse ante los centros de salud y autoridades laborales, puesto que existe un temor por parte del trabajador a perder su puesto de trabajo. Esto suele agravar más la situación, pues, como se ha dicho, el ruido no solo daña la audición como tal, sino también puede llegar a afectar drásticamente la concentración, predisponiendo al trabajador a asumir un estado irritable e insostenible, lo que genera un clima laboral desfavorable (Otárola et al., 2006).

Esto debido a que los centros de labores suelen ser cada día más ruidosos como consecuencia de un proceso de industrialización que convierte los puestos de trabajo en lugares con amplios niveles de contaminación auditiva. Esta situación no solo está generando enfermedades, sino que ocasiona cuantiosos gastos por parte de las empresas que se ven en la imperiosa necesidad tanto de fortalecer sus sistemas de seguridad industrial como de aplicar una correcta política de seguridad y salud en el trabajo.

Buena parte de los sectores donde se generan mayores ruidos está en aquellos relacionados con la minería, la construcción, la agricultura, metalurgia y transporte, este último debido a un proceso urbanístico acelerado

que ha propiciado la aparición de sistemas de transporte cada día más sofisticados, pero ruidosos, que pueden afectar la salud de los habitantes.

Una de las causas que provoca la pérdida de la audición es el ruido, que se encuentra presente en muchos puestos de trabajo. De acuerdo con estimaciones de la Organización Mundial de la Salud, cerca de un 10 % de la población mundial se encuentra expuesta a niveles de presión sonora que podrían causar enfermedades como la hipoacusia, uno de los principales padecimientos auditivos que se conocen; por ello, "la hipoacusia inducida por exposición al ruido en el lugar del trabajo constituye un problema de salud, pues unos 1300 millones de personas la padecen" (Fuentes et al., citados por Grass et al., 2017, p. 2).

Existen múltiples consecuencias que se presentan cuando el ambiente laboral tiene ruidos elevados, por lo que las empresas deben atender de forma inmediata tales escenarios y, de esta manera, evitar el incremento de daños auditivos en los trabajadores.

Se ha demostrado, a través de estudios en la materia, que la exposición crónica a ruidos elevados por más de 8 horas diarias hace que los trabajadores estén no solo más expuestos a los daños, sino que, a la larga, se conviertan en un grupo poblacional propenso a padecer cualquier afección, sobre todo la hipoacusia neurosensorial.

Una exposición prolongada puede dañar de forma progresiva tanto células como nervios del oído interno, ya que "si existe la destrucción de un número suficiente de células y nervios, habrá pérdida de la capacidad auditiva de tipo permanente" (Gómez et al., 2012, p. 175).

De acuerdo con los protocolos de seguridad industrial, las medidas de seguridad de control para el ruido se deben priorizar. Sin embargo, existen muchos limitantes que no hacen posible el cumplimiento de dichos protocolos, lo cual genera que las afecciones se presenten con mayor prevalencia. Esta situación puede acelerar el hecho de que los trabajadores

padezcan diversas enfermedades. Por otro lado, se presenta el caso de que algunas empresas conocen la importancia de estos protocolos, sin embargo, los trabajadores no respetan los protocolos de seguridad. Por ejemplo, en la Ciudad de México, donde casi el 90 % de los trabajadores de una determinada compañía sabían los riesgos que corrían, muchos de ellos no atendían a cabalidad tales procedimientos industriales.

Por otro lado, es importante destacar que la mayoría de las empresas no ha tomado muy en serio los impactos del ruido sobre la salud de los trabajadores, lo cual significa un grave problema, ya que muchas de estas personas, cuya exposición al ruido es prolongada, pueden sufrir de severos problemas auditivos, incluso, perder la audición en su totalidad.

Por ello, las empresas deben analizar la situación expuesta y crear los mecanismos de atención para que estos problemas no se presenten, así como plantear objetivos y propuestas en beneficio de la salud de sus trabajadores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alfaro, M. (1975). *Introducción a la Geoestadística Operativa*. Escuela Superior de Ingenieros de Minas de Madrid.

Alfie, M. y Salinas, O. (2017). Ruido en la ciudad. Contaminación auditiva y ciudad contaminable. *Estudios demográficos y urbanos, 32*(1), 65-97. https://bit.ly/3elGY3O

Amable, I., Méndez, J., Delgado, L., Acebo, F., De Armas, J. y Rivero, M. (2017). Contaminación ambiental por ruido. *Revista Médica Electrónica*, *39*(3), 640-649. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1684-18242017000300024

Arellano, J. (2008). Resurgimiento minero en Perú: ¿una versión moderna de una vieja maldición? *Colombia Internacional*, *67*, 60-83.

Arellano, J. (2013). *Ingeniería Ambiental*. Alfa omega.

Bula, E. (2019). Impacto de la exposición a ruido ocupacional en el desempeño de tareas psicomotoras. *Ergonomía, Investigación y Desarrollo*, *1*(2), 138-151. https://bit.ly/3qn7Mq0

Candiotti, C. y Tintaya, S. (2019). *Efectividad de los protectores auditivos para la prevención de la hipoacusia en trabajadores expuestos a ruido.* [tesis de especialidad, Universidad Norbert Wiener, Lima]. Repositorio Institucional. http://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/123456789/2953

Cano, H. (2021). Caracterización del ruido de las operaciones de una empresa de fabricación y comercialización de envases de vidrio hidrolítico tipo 1. *Rev. Inst. Investig. Fac. Minas Metal, 24*(47), 95-100. https://dx.doi.org/10.15381/iigeo.v24i47.20655

Cardemil, F., Sade, C., Fuentes, E. y Rojas, G. (2021). Aspectos psicosociales de los programas de salud de personas mayores con hipoacusia y su impacto en la adherencia al uso de audífonos: una revisión narrativa. *Revista de otorrinolaringología y cirugía de cabeza y cuello, 81*(2), 246-257. http://dx.doi.org/10.4067/s0718-48162021000200246

Cerro-Romero, S., Valladares-Garrido, D. y Valladares-Garrido, M. (2020). Factores asociados a hipoacusia inducida por ruido en trabajadores de una empresa metalmecánica de Talara, Piura periodo 2015-2018. *Rev. cuerpo méd. HNAAA, 13*(2), 122-127. https://doi.org/10.35434/rcmhnaaa.2020.132.658

Chaux, L. y Acevedo, B. (2019). Evaluación de ruido ambiental en alrededores a centros médicos de la localidad de Barrios Unidos, Bogotá. *Revista Científica, 35*(2), 234-246. https://doi.org/10.14483/23448350.13983

Chuquiruna, M. (2020). *Análisis comparativo entre la precipitación media mensual estimada por el método kriging y thiessen en la cuenca del río cajamarquino.* [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca]. Repositorio Institucional. http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3910

Contreras, C. (2013). Actitudes Acerca de la Protección Auditiva y Pérdida de la Audición en Trabajadores de una Planta Compresora de Gas Costa-Afuera. *Ciencia & Trabajo, 15*(46), 35-39. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-24492013000100008

Coral, K. (2020). Modelos estadísticos de ruido ambiental para el Distrito Metropolitano de Quito DMQ, mediante datos históricos del 2009 al 2015, validados al 2019, como herramienta de calidad ambiental. *ACI Avances En Ciencias E Ingenierías, 12*(1), 14-37. https://doi.org/10.18272/aci.v12i1.941

Cordero, A., Martí, P. y Victoria, M. (2018). Robust topology optimization of continuum structures using Monte Carlo method and Kriging models. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, *34*(1), 1-12. https://www.scipedia.com/public/Cordero_et_al_2017a

Fajardo-Segura, A. y Mateus-Lucas, C. (2017). Incidencia del ruido producido por el transporte automotor en áreas de valor patrimonial: Avenida Jesús Menéndez. *Ciencia en su PC, 3,* 81-90.

Córdoba, M., Paccioretti, P., Kurina, F., Bruno, C. y Balzarini, M. (2019). *Guía para el análisis de datos espaciales. Aplicaciones en agricultura.* (1° Edición). Brujas.

Corrales, H., Daza, I., Pulido, M. y Yepes, G. (2021). *Alteraciones auditivas en trabajadores expuestos a altos niveles de ruido en la industria minera. Revisión documental.* [tesis de especialización, Universidad ECCI, Bogotá, Colombia]. Repositorio Institucional. https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/876

Díaz, C., Goycoolea, M. y Cardemil, F. (2016). Hipoacusia; trascendencia, incidencia y prevalencia. *Revista Médica Clínica Las Condes*, *27*(6), 731-739.

Díaz, J. y Linares, C. (2015). Efectos en salud del ruido de tráfico: Más allá de las "molestias". *Revista de salud ambiental*, *15*(2), 121-131. https://ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/709

Fuentes-López, E., García-Huidobro, F., Acuña, P., Castro, N., Jalil, G., Molina, N., Navea, L., Magallón, E. y Badía, P. (2021). Efectos auditivos producto de la exposición a ruido recreacional y dental en estudiantes de odontología: un estudio transversal. *Revista CEFAC*, *23*(1), 1-10. https://doi.org/10.1590/1982-0216/20212310719

Gamero, H. (2020). Comparación de los niveles de ruido, normativa y gestión de ruido ambiental en Lima y Callao respecto a otras ciudades de Latinoamérica. *Revista Kawsaypacha: Sociedad Y Medio Ambiente*, 5, 107-142. https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202001.004

Ganime, J. F., Almeida da Silva, L., Robazzi, M., Valenzuela, S. y Faleiro, S. (2010). El ruido como riesgo laboral: una revisión de la literatura. *Enfermería global*, *19*, 1-19. https://bit.ly/3svAeIT

García, M., Torres, M., Torres, A., Alfonso, E. y Cruz, F. (2017). Audiometría de altas frecuencias: utilidad en el diagnóstico audiológico de la hipoacusia inducida por ruidos. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, *21*(5), 584-591. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-02552017000500004

García, M., Torres, M., Torres, A., Roig, T. y Cruz, F. (2021). Audiometría de altas frecuencias en adolescentes expuestos a ruidos. *Revista Cubana de Pediatría, 93*(1), 1-17. https://bit.ly/3H5qp8A

Gómez, M., Jaramillo, J., Ceballos, Y., Martínez, A., Velásquez, M. y Vásquez, E. (2012). Ruido industrial. Efectos en la salud de los trabajadores expuestos. *Revista CES Salud Pública*, *3*(2), 174-183.

Grass, Y., Castañeda, M., Pérez, G., Rosell, L. y Roca, L. (2017). El ruido en el ambiente laboral estomatológico. *MEDISAN, 21*(5), 527-533. https://bit.ly/3qoMJmM

Gutiérrez-Farfán, I., Arch-Tirado, E., Lino-González, A. y Jardines-Serralde, L. (2018). Daño auditivo inducido por ruido recreativo (Carta al Editor). *Salud Pública de México*, *60*(2), 126. https://doi.org/10.21149/9042

López, M., López, E. y Oñate, C. (2021). Riesgos laborales por ruido e iluminación: caso de estudio de una empresa de calzado. *Revista Odigos*, *2*(2), 81-99. https://doi.org/10.35290/ro.v2n2.2021.444

Gutiérrez-López, A., Ramírez, A., Lebel, T., Santillán, O. y Fuentes, C. (2011). El variograma y el correlograma, dos estimadores de la variabilidad de mediciones hidrológicas. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 59,* 193-202. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43021205018

Hernández, H. y Gutiérrez, M. (2006). Hipoacusia inducida por ruido: estado actual. *Revista Cubana de Medicina Militar*, *35*(4). https://bit.ly/3pleFc4

Lagos, G., Arévalo, V., Monsálvez, K. y Pereira, M. (2020). Pérdida auditiva inducida por ruido recreativo en adolescentes. Revisión de literatura. *Horizonte sanitario, 19*(2), 185-194. https://bit.ly/3ekpIMd

Llanos-Redondo, A., Mogollón, M., Aguilar – Cañas, S. y Bateca – Parada, Z. (2020). Asociaciones entre clase social e hipoacusia laboral. *Revista de Investigación e Innovación en Ciencias de la salud, 2*(1), 1-14. https://doi.org/10.46634/riics.40

Martínez, M. (1995). Efectos del ruido por exposición laboral. *Salud de los Trabajadores*, *3*(2), 93-101. https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-192514

Medina, A., Velásquez, G., Giraldo, L., Henao, L. y Vásquez, E. (2013). Sordera ocupacional: una revisión de su etiología y estrategias de prevención. *CES Salud Pública*, *4*(2), 116-124. https://doi.org/10.21615/2624

Mellisho, H. (2017). *Estudio de ruido ocupacional para la prevención de la pérdida auditiva, en la planta concentradora de minerales "Santa Rosa de Jangas" de la UNASAM – 2017"*. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Ancash]. Repositorio institucional. https://bit.ly/3yRsCBH

Mendoza, J. y Rodríguez, A. (2019). Ruido producido por el paso del tren, en la ciudad de Morelia, Michoacán. *Milenaria, Ciencia y Arte*, *9*(14), 30-32. https://www.milenaria.umich.mx/ojs/index.php/milenaria/article/view/33

Organización Internacional del trabajo. (2018). *Seguridad y salud en las minas a cielo abierto*. (1er edición, 1991; 2da. Edición revisada, 2018). Ginebra.

Ortega, M. y Cardona, J. (2005). Metodología para evaluación del ruido ambiental urbano en la ciudad de Medellín. *Rev Fac Salud Pública, 23*(2), 70-77. http://www.scielo.org.co/img/revistas/rfnsp/v23n2/v23n2a08

Ortiz, A. (2021). Estudio Transversal: pérdida auditiva causada por ruido en el personal de la aviación militar ecuatoriana. *Ciencia y Poder Aéreo*, *16*(1), 139-148. https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.688

Otárola, F., Otárola, F. y Finkelstein, A. (2006). Ruido laboral y su impacto en Salud. *Ciec Trab, 8*(20), 47-51.

Portilla, C., Lucín, D., Malavé, C., Baque, R., Erazo-Bone, R., Del Pezo, E., Ramírez, J. y Escobar-Segovia, K. (2021). Utilización de algoritmos genéticos para la optimización en el cálculo de variogramas basadas en celdas para la simulación de un yacimiento. *Revista fuentes, el reventón energético*, *19*(1), 7 -19. https://doi.org/10.18273/revfue.v19n1-2021002

Romero, G., Acero, J. y Jaimes, M. (2016). Generación de mapas de ruido (industrial) desde sistemas de información geográfica. Un acercamiento desde la literatura. *Revista Tecnura*, *20*(49), 152-166. https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.3.a10

Santamaría, M. y Malla, M. (2008). Notas sobre el manejo del software geoestadístico Variowin. Parte II: modelado del variograma experimental. *Revista del Instituto de Investigaciones de FIGMMG*, *11*(22), 89-95. https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/475

Sierra, D. y Beyoda, E. (2016). Prevalencia de hipoacusia neurosensorial inducida por ruido en empresas del sector madera de la ciudad de Cartagena, 2015. *NOVA*, *14* (25), 47-56. https://bit.ly/3yS2Xc9

Tomas, E. (2018). *Aplicación del método de dosmetría para controlar el nivel de ruido ocupacional en la corporación de industrias Stanford S.A.C. – Lurín – Lima – 2016.* [tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco]. http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/470

Torres, L., Robles, M. y Noda, I. (2015). Estudio de la hipoacusia inducida por ruido en trabajadores utilizando el modelo de aplicación del Instituto Nacional de Salud de los trabajadores de Cuba. *Revista Cubana de Salud y Trabajo*, *16*(2), 37-43. https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=61772

Urbina, R. (2011). Hipoacusia de origen laboral. *Revista Médica de Costa Rica y Centroamérica*, *68*(599), 447-453. https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=32395



EDITORIAL
NAVEGANTE