



Gestión del Riesgo por Exposición Ocupacional al Ruido: Dosimetría, Normativa ISO, Evidencia Audiológica y Estrategias de Control

Ronald Fernando Nina Muñoz

Ingeniero de Higiene y Seguridad Industrial

CIP 121088

José Luis Mendoza Sarria

Asistente de Investigación

HSE RENT S.A.C.

Lima, Perú

Área temática: Seguridad y Salud en el Trabajo

Palabras clave: ruido ocupacional, dosimetría, hipoacusia, ISO 9612, higiene industrial, EPP auditivo

Fecha: 1 de febrero de 2026

1. Introducción

La contaminación acústica en el entorno laboral representa uno de los riesgos higiénicos más extendidos y, paradójicamente, más subestimados de la industria moderna. A diferencia de otros peligros físicos visibles, el ruido es un agente silencioso en su progresión: destruye de manera irreversible las células ciliadas de la cóclea sin provocar dolor inmediato, convirtiendo a la hipoacusia inducida por ruido (HIR) en una enfermedad ocupacional de daño acumulativo que se manifiesta años o décadas después de la exposición inicial. Esta característica insidiosa la hace especialmente peligrosa en contextos de baja vigilancia técnica.

El problema adquiere una dimensión de urgencia sin precedentes en el contexto global actual. La creciente automatización e intensificación de los procesos productivos, sumada al uso masivo de maquinaria de alta potencia en construcción, manufactura y agroindustria, eleva sistemáticamente los niveles sonoros en los ambientes de trabajo. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que el 16 % de la hipoacusia discapacitante en adultos es atribuible directamente a la exposición laboral al ruido [1]. En los Estados Unidos, los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC) reportan que aproximadamente 22 millones de trabajadores están expuestos anualmente a niveles de ruido potencialmente dañinos [2]. En países en desarrollo, donde los controles son menos rigurosos, esta cifra es proporcionalmente mayor.

En el Perú, la realidad es igualmente crítica. Los datos del Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo (MTPE) revelan que el 62 % de las enfermedades ocupacionales reportadas están asociadas a la exposición continua al ruido, siendo la hipoacusia el principal problema detectado [3]. Estudios en el sector minero peruano documentaron que, durante el período 2011–2020, la hipoacusia constituyó el 90.74 % del total de enfermedades ocupacionales registradas en dicho sector [4]. Sin embargo, paradójicamente, la industria general (manufactura, construcción, servicios) carece de una metodología de evaluación uniforme y de límites numéricos precisos que vayan más allá de lo estipulado en la Resolución Ministerial N° 375-2008-TR.

Esta brecha técnico-normativa es el núcleo del problema que aborda el presente artículo. Si bien la normativa peruana exige al empleador garantizar condiciones ambientales seguras bajo la Ley N° 29783 de Seguridad y Salud en el Trabajo, no proporciona una metodología de dosimetría estandarizada para cuantificar la dosis diaria de ruido con precisión de ingeniería. Ante este vacío, la práctica correcta de la higiene industrial debe recurrir al estándar internacional. Este artículo desarrolla una metodología de evaluación rigurosa basada en la norma ISO 9612 (Dosimetría de Ruido Ocupacional) e ISO 1999 (Estimación de Hipoacusia Inducida por Ruido), analiza la evidencia médica del daño coclear irreversible y propone estrategias de control aplicables a la realidad empresarial peruana.

2. Fisiopatología y Riesgos Ocupacionales

Para comprender la magnitud del daño generado por el ruido ocupacional, es indispensable analizar el mecanismo biológico de lesión. El oído humano es un transductor bioacústico de extraordinaria precisión, capaz de percibir variaciones de presión sonora en un rango dinámico de más de 120 decibelios. Sin embargo, esta sensibilidad también lo hace vulnerable: las células ciliadas externas (CCE) de la cóclea, responsables de

la amplificación activa de señales sonoras, son estructuras terminalmente diferenciadas que, una vez destruidas, no se regeneran en el organismo humano adulto [9].

2.1. Mecanismo de Daño Coclear: De lo Temporal a lo Permanente

La secuencia de daño se produce en dos escalas temporales bien definidas:

- **Desplazamiento Temporal del Umbral (DTU / TTS):** Ante una exposición intensa de corta duración, las CCE experimentan una disfunción reversible: hinchazón de los estereocilios, retracción de los axones aferentes y agotamiento de los neurotransmisores. La audición se recupera en 12 a 48 horas si el organismo tiene tiempo de reposo acústico suficiente. Este fenómeno, antes considerado inocuo, es hoy reconocido como precursor de daño permanente: la “sinaptopathy coclear oculta” (*cochlear synaptopathy*), en la que se pierden sinapsis entre las células ciliadas internas y las fibras nerviosas de bajo umbral, sin que la audiometría convencional lo detecte hasta estadios avanzados [11].
- **Desplazamiento Permanente del Umbral (DPU / PTS):** La exposición crónica y repetida sin recuperación acústica suficiente genera estrés oxidativo acumulativo en la cóclea: la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) supera la capacidad antioxidante de las CCE, activando cascadas de apoptosis y necrosis celular [10]. La consecuencia es la hipoacusia sensorineural irreversible, cuya “huella audiométrica” clásica es la caída de umbral en 4000 Hz (muesca acústica o *4 kHz notch*), extendiéndose a 3000 y 6000 Hz con la progresión del daño. *Nota: esta muesca audiométrica no debe confundirse con la “muesca de Carhart”, que es un fenómeno distinto asociado a la otosclerosis.*

2.2. Efectos Sistémicos: Más Allá del Oído

La investigación reciente ha consolidado la comprensión de que el ruido ocupacional no es un problema exclusivamente auditivo. Sus efectos se extienden a múltiples sistemas orgánicos:

- **Efectos Auditivos Agudos (Seguridad y Operatividad):** La fatiga auditiva por exposición a ruido superior a los límites permisibles reduce la capacidad de detectar señales de alarma, comunicaciones de seguridad y peligros ambientales. Esta reducción de la “conciencia situacional” es un factor documentado en la causalidad de accidentes industriales graves [7].
- **Efectos Auditivos Crónicos (Hipoacusia Laboral):** La exposición sostenida durante años de vida laboral produce pérdida auditiva permanente de tipo sensorineural, incomunicación progresiva, acúfenos crónicos (tinnitus) y profundo deterioro de la calidad de vida del trabajador. La hipoacusia laboral es la enfermedad ocupacional más prevalente a nivel global [13].
- **Efectos No Auditivos (Salud General):** La exposición crónica al ruido activa el eje hipotálamo-hipófisis-suprarrenal, generando una respuesta de estrés fisiológico sostenido. Esto se traduce en hipertensión arterial, taquicardia, trastornos del sueño, deterioro cognitivo y mayor riesgo cardiovascular, incluso a niveles inferiores a los límites de daño auditivo [12].

3. Marco Técnico: Metodología de Dosimetría por ISO 9612

La evaluación del riesgo por ruido no puede sustentarse en mediciones puntuales de nivel sonoro ni en percepciones subjetivas del trabajador. Se requiere una cuantificación integral de la dosis acústica diaria recibida, integrando el nivel de presión sonora y su duración efectiva a lo largo de la jornada laboral. Para ello, la Organización Internacional de Normalización (ISO) ha desarrollado la norma ISO 9612, que constituye el método de ingeniería de referencia universal [5].

3.1. ISO 9612: El Nivel de Exposición Diario al Ruido ($L_{EX,8h}$)

La norma ISO 9612:2025 (tercera edición, que reemplaza a la ISO 9612:2009) establece el **Nivel de Exposición Diario al Ruido** ($L_{EX,8h}$) como el indicador fundamental de riesgo. Cabe señalar que la edición 2025 cambió su subtítulo de “Engineering method” a “Methodology” e introdujo mejoras en el cálculo de incertidumbre para días nominales múltiples (Anexo C.7) y un nuevo Anexo H para la incertidumbre de niveles pico. Este parámetro normaliza toda exposición a una jornada de referencia de 8 horas, permitiendo comparaciones objetivas independientemente de la duración real del turno:

$$L_{EX,8h} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n T_i \cdot 10^{L_{p,A,eq,T_i}/10} \right)$$

Análisis de las variables:

- L_{p,A,eq,T_i} (**Nivel Continuo Equivalente**): Es el nivel de presión sonora ponderado “A” promediado energéticamente durante el intervalo de medición T_i . La ponderación “A” simula la respuesta frecuencial del oído humano, dando mayor peso a las frecuencias de 1000 a 4000 Hz donde el riesgo de daño coclear es mayor.
- T_i (**Tiempo de exposición efectivo**): Duración real de cada tarea o segmento medido durante la jornada laboral.
- $T_0 = 8$ **horas**: Tiempo de referencia normativo para la normalización.

El resultado es un número único en dB(A) que es objetivamente comparable con los límites de exposición. Si $L_{EX,8h} \geq 85$ dB(A), se activa la obligación legal y técnica de implementar controles.

3.2. Las Tres Estrategias de Medición (ISO 9612)

La norma define tres estrategias de medición según la naturaleza del trabajo, garantizando la representatividad estadística de los datos:

Tabla 1: Estrategias de Medición según ISO 9612

Estrategia	Aplicación	Ejemplo Operativo
Basada en Tareas	Trabajo estructurado en tareas definidas de duración conocida	Operador de prensa: ciclo de estampado + inspección + transporte
Basada en el Puesto	Grupos homogéneos de trabajadores con exposición similar	Todos los soldadores en la línea de ensamblaje
Jornada Completa	Trabajo irregular, impredecible o con alta variabilidad	Supervisores de obra, técnicos de mantenimiento

3.3. ISO 1999: Predicción del Daño Auditivo Acumulativo

La norma **ISO 1999:2013** (Acústica – Estimación de la Hipoacusia Inducida por Ruido) es el complemento indispensable de ISO 9612. Mientras que ISO 9612 cuantifica la dosis actual, ISO 1999 permite proyectar el daño auditivo futuro esperado en función del nivel de exposición y los años de exposición acumulada. Su ecuación fundamental relaciona el Desplazamiento Permanente del Umbral Auditivo Inducido por Ruido (NIPTS) con el $L_{EX,sh}$ y la duración en años de carrera laboral [6]:

$$NIPTS = u \cdot [\log_{10}(L_{EX,sh}/L_0)]^v \cdot [\log_{10}(t/t_0)]$$

Donde u y v son coeficientes empíricos dependientes de la frecuencia audiométrica evaluada (tabla ISO 1999, Anexo A). Esta herramienta permite a la empresa calcular, por ejemplo: “si un trabajador es expuesto a 90 dB(A) durante 20 años, ¿cuántos dB de pérdida auditiva predice el modelo a 4000 Hz?”, fundamentando decisiones de vigilancia médica y retiro anticipado de puestos ruidosos.

3.4. Parámetros Complementarios de la Dosimetría

Una evaluación completa de ruido bajo ISO 9612 no se limita al $L_{EX,sh}$. Requiere también:

Tabla 2: Parámetros de Dosimetría de Ruido (ISO 9612 e IEC 61252)

Parámetro	Unidad / Límite	Significado Técnico
$L_{EX,sh}$	dB(A) / ≤ 85	Dosis diaria de ruido normalizada a 8 h. Indicador principal de riesgo.
$L_{peak,C}$	dB(C) / ≤ 140	Nivel pico de presión sonora ponderado “C”. Detecta impactos y explosiones que pueden dañar el oído en una sola exposición.
$L_{p,A,eq}$ (TWA)	dB(A)	Nivel continuo equivalente ponderado “A”, base de cálculo del $L_{EX,sh}$.
Dosis (%)	% / ≤ 100 %	Porcentaje de la dosis permisible consumida. Dosis = 100 % equivale a $L_{EX,sh} = 85$ dB(A).

4. Instrumentación y Calidad de la Medición

La validez técnica de cualquier estudio de dosimetría de ruido depende de manera crítica de la calidad y correcta configuración de los instrumentos de medición. El uso de aplicaciones móviles no calibradas, sonómetros de baja precisión o dosímetros mal configurados invalida el estudio desde el punto de vista de la ingeniería de higiene y no proporciona respaldo técnico ni jurídico ante una fiscalización de SUNAFIL.

4.1. El Dosímetro Personal: Instrumento de Referencia ISO 9612

La norma ISO 9612 señala que el dosímetro personal de ruido (*noise dosimeter*), que cumple los requisitos de IEC 61252 e IEC 61672-1, es el instrumento preferido para la dosimetría de trabajadores con movilidad, ya que sigue al trabajador durante toda su jornada, capturando la variabilidad real de la exposición.

Especificaciones técnicas mínimas requeridas por la norma:

- **Clase de precisión:** Clase 1 (preferida para entornos de alta frecuencia o bajas temperaturas); Clase 2 como mínimo aceptable para trabajos de campo.
- **Ponderación frecuencial:** “A” para el cálculo del $L_{EX,sh}$; “C” para el monitoreo del nivel pico.
- **Criterio de Tasa de Intercambio:** 3 dB (criterio ISO/NIOSH). La tasa de 5 dB (criterio OSHA) subestima el riesgo y no es aceptable bajo el estándar ISO.
- **Posición del micrófono:** A 10 cm del oído más expuesto del trabajador (hombro del lado de mayor exposición).
- **Calibración:** Con calibrador acústico (IEC 60942) antes y después de cada jornada de medición. La calibración debe estar trazable a patrones nacionales (INACAL – Instituto Nacional de Calidad, que asumió las funciones metrológicas de INDECOPI desde 2014).

4.2. El Sonómetro de Clase 1: Para Mediciones de Área

Para caracterizar el mapa acústico de las instalaciones (mediciones de área), se utilizan sonómetros integradores de Clase 1 (IEC 61672-1). Su uso es complementario al dosímetro personal y es fundamental para identificar las fuentes de ruido, evaluar la efectividad de las barreras acústicas y definir las zonas de obligatoriedad de protección auditiva.

4.3. Protocolo de Medición (Resumen ISO 9612)

1. **Análisis del trabajo:** Identificar y describir todas las tareas que componen la jornada laboral del puesto evaluado, con sus duraciones típicas.
2. **Selección de estrategia:** Elegir la estrategia más apropiada (Tabla 1) según la naturaleza del trabajo.
3. **Número mínimo de mediciones:** Para estrategia basada en tareas, la norma exige un mínimo de 3 mediciones independientes por tarea. Para estrategia de puesto de trabajo, mínimo 5 mediciones en diferentes turnos o días.

4. **Manejo de errores e incertidumbre:** ISO 9612 exige el cálculo de la incertidumbre expandida (U) del resultado final, para determinar si la exposición se encuentra significativamente por encima o por debajo del límite normativo.
5. **Documentación:** El informe técnico debe incluir la descripción completa del puesto, el instrumento utilizado (con número de certificado de calibración vigente), la estrategia empleada, los valores medidos, el $L_{EX,8h}$ calculado y la incertidumbre de medición.

5. Impacto Real: Evidencia Estadística en Campo

Más allá de los modelos teóricos, la evidencia empírica disponible confirma que cuando se omite la vigilancia técnica de ruido, el daño auditivo es sistemático y cuantificable. Estudios de campo en la industria peruana y latinoamericana documentan la prevalencia real de la hipoacusia en sectores con alta exposición al ruido:

Prevalencia de Hipoacusia y Síntomas en Trabajadores Expuestos a Ruido

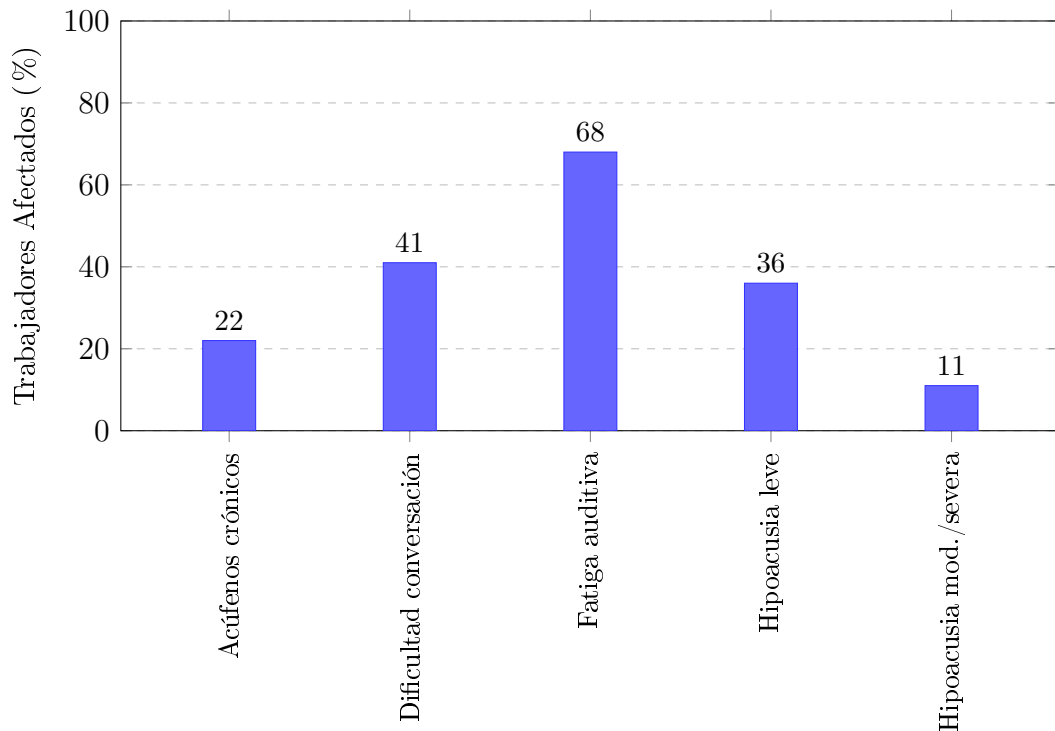


Figura 1: Prevalencia de síntomas auditivos en trabajadores de sectores industriales con exposición a ruido ≥ 85 dB(A) sin programa de conservación auditiva activo. **Nota metodológica:** Los porcentajes presentados son estimaciones consolidadas a partir de múltiples estudios con metodologías y poblaciones diferentes [14, 4]; no corresponden a un estudio único ni a una revisión sistemática. Cerro-Romero et al. reportaron una prevalencia de hipoacusia del 10.7% en su muestra específica. Los valores aquí mostrados deben interpretarse como indicativos de tendencia, no como tasas de prevalencia validadas para la industria peruana en general.

Los datos de este gráfico revelan una realidad alarmante: el 68% de trabajadores reporta fatiga auditiva al finalizar el turno, síntoma reconocido como marcador del Despla-

zamiento Temporal del Umbral (DTU), precursor documentado del daño permanente. El 36 % presenta hipoacusia leve diagnosticada por audiometría, condición que en muchos casos ya implica dificultades para la comunicación en ambientes ruidosos. Solo el 11 % alcanzó el estadio de hipoacusia moderada o severa, pero este dato no debe interpretarse como tranquilizador: refleja únicamente el estado en el momento de la evaluación, no la progresión futura inevitable si no se implementan controles [14].

La dimensión económica del problema es igualmente significativa. El sector minero peruano reportó 37,899 casos de enfermedades ocupacionales en solo diez años (2011–2020), de los cuales el 90.74% correspondió a hipoacusia (aproximadamente 34,383 casos), lo que representa una carga de incapacidad laboral, compensaciones e indemnizaciones de magnitud muy considerable [4]. En la industria general, donde el subregistro es endémico dada la ausencia de vigilancia sistemática, la cifra real es presumiblemente mayor.

6. Marco Normativo Nacional: Referencia Técnica

En el Perú, la gestión del ruido ocupacional presenta diferencias significativas según el sector económico. Es fundamental entender qué instrumento normativo aplica en cada caso y cuáles son sus limitaciones técnicas.

6.1. Sector Minería: Regulación Específica (D.S. 024-2016-EM)

El Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (D.S. 024-2016-EM, modificado por D.S. 023-2017-EM y D.S. 034-2023-EM, Anexo N° 12) establece la tabla de límites de exposición por nivel y tiempo. Para una jornada de 8 horas al día, el límite máximo permisible es de 85 dB(A). Adicionalmente, la Guía N° 1 de dicho reglamento detalla el protocolo de medición con dosímetros y sonómetros, y los criterios de evaluación. Este sector cuenta además con la Norma Técnica Peruana NTP-ISO 9612:2010 (adopción de ISO 9612), que formaliza la metodología de dosimetría para la industria extractiva.

6.2. Industria General: El Vacío Metodológico y la Solución ISO

Para los sectores de construcción, manufactura y servicios, la norma de referencia es la R.M. N° 375-2008-TR (Norma Básica de Ergonomía), que establece en su Anexo N° 1 la misma tabla de límites por nivel y tiempo que el sector minero: 85 dB(A) para 8 horas [8]. Sin embargo, esta norma **no especifica la metodología de medición**, es decir, no indica si se debe usar dosímetro o sonómetro, cuántas mediciones se requieren, cómo calcular la incertidumbre, ni cómo manejar jornadas variables o trabajo en múltiples puestos.

Ante esta falta de especificidad metodológica, la práctica correcta de ingeniería de higiene es adoptar el estándar internacional. La norma **ISO 9612** se convierte así en la referencia técnica necesaria para:

- Objetivar el riesgo con precisión de ingeniería.
- Brindar seguridad jurídica a la empresa ante fiscalizaciones de SUNAFIL.
- Demostrar que la empresa está aplicando el Estado del Arte en protección de la salud auditiva de sus trabajadores.

La analogía con el estrés térmico es directa: así como la ley peruana exige prevenir el calor pero no da la metodología (que se cubre con ISO 7243), la ley peruana exige prevenir el ruido pero no da la metodología de dosimetría (que se cubre con ISO 9612).

6.3. Diferencial de Límites: Ley vs. Excelencia Técnica

Tabla 3: Comparación Normativa: Ley Peruana vs. Estándares Internacionales

Parámetro	RM 375-2008-TR (Perú)	DS 024-2016-EM y modif. (Minería)	ISO 9612 + NIOSH 1998
Límite $L_{EX,sh}$	85 dB(A)	85 dB(A)	85 dB(A)
Tasa de intercambio	No especificada	5 dB	3 dB (más protectora)
Metodología de medición	No especificada	Guía N° 1 del DS 024	ISO 9612 (3 estrategias)
Incertidumbre de medición	No exigida	No exigida	Obligatoria
Nivel pico ($L_{peak,C}$)	No contemplado	No contemplado	140 dB(C) límite
Vigilancia audiométrica	Referencia general	Exigida periódicamente	Anual (NIOSH)

El diferencial más importante es la **tasa de intercambio**: con la tasa de 3 dB (criterio ISO/NIOSH), duplicar el tiempo de exposición equivale a aumentar 3 dB la exposición. Con la tasa de 5 dB (criterio OSHA), se requiere cuadruplicar el tiempo. Esto significa que la tasa de 5 dB subestima sistemáticamente el riesgo en trabajos de jornada variable, siendo la tasa de 3 dB la científicamente validada por la evidencia epidemiológica.

7. Estrategias de Control y Aplicación Empresarial

La gestión efectiva del riesgo por ruido no se agota en la medición: exige la implementación de una cadena de controles que interrumpa la transferencia de energía acústica desde las fuentes hasta el oído del trabajador. La jerarquía de controles, consagrada en ISO 9612 y los criterios NIOSH, establece un orden de prioridad que la empresa debe respetar.

7.1. Matriz de Impacto Auditivo vs. Controles Técnicos

Tabla 4: Matriz de Impacto en Salud Auditiva y Controles Técnicos (Con Referencia)

Impacto	Potencial	Estrategia de Control Sugerida	Referencia Técnica / Médica
Fatiga Auditiva (DTU recurrente)		Rotación de Puestos / Descanso Acústico: Limitar el tiempo en zonas ≥ 85 dB(A) según la tabla $L-T$ de la norma. Implementar “zonas de silencio” para recuperación auditiva durante pausas.	ISO 9612 / RM 375-2008-TR [8]
Hipoacusia Laboral Leve-Moderada (DPU inicial)		Protectores Auditivos + Vigilancia: Selección de EPP auditivo con SNR/NRR adecuado al nivel de ruido. Audiometría anual para detección precoz de cambio de umbral.	ISO 4869-1 / NIOSH 1998 [7]
Hipoacusia Severa y Tinnitus Crónico (Acumulación a largo plazo)		Controles de Ingeniería Definitivos: Encapsulamiento de fuentes, silenciadores en ductos, amortiguadores de vibración. Reducir el nivel en la fuente es la única solución permanente y técnicamente superior.	ISO 15667 (Enclosures) / OSHA 1910.95 [15]
Trauma Acústico Agudo (Un solo evento > 140 dB)		Respuesta Inmediata: Retiro de la exposición, evaluación audiológica de urgencia dentro de las 24 horas. El tratamiento farmacológico (corticosteroides) tiene mayor eficacia cuanto antes se inicia.	Guías de Medicina Ocupacional / ACOEM [16]
Daño Cardiovascular y Cognitivo (Ruido crónico > 75 dB)		Monitoreo Médico Integral: Incluir evaluación de presión arterial y marcadores de estrés en los exámenes médicos periódicos de trabajadores expuestos a ruido.	Basner et al. (2014) [12]

7.2. Jerarquía de Controles: Prioridades de Ingeniería

1. **Controles de Ingeniería (Prioridad 1):** Su objetivo es reducir el nivel de ruido en la fuente o en la vía de transmisión, eliminando o reduciendo el peligro antes de que llegue al trabajador.
 - Sustitución de equipos (comprar maquinaria más silenciosa según el concepto “Buy Quiet”).
 - Encapsulamiento o aislamiento acústico de fuentes de ruido intenso.
 - Amortiguadores de vibración y juntas antivibratorias para reducir ruido estructural.
 - Mantenimiento preventivo de equipos (maquinaria lubricada y bien ajustada genera menos ruido).
 - Barreras y pantallas acústicas entre la fuente y el trabajador.

2. **Controles Administrativos (Prioridad 2):** Cuando el ruido no puede eliminarse en la fuente, se gestiona la dosis mediante la reducción del tiempo de exposición.
 - Rotación de puestos de trabajo para distribuir la dosis entre varios trabajadores.
 - Programación de tareas ruidosas en horarios con menor número de trabajadores presentes.
 - Implementación de límites de tiempo en zonas de alto ruido (basados en la tabla $L_{EX,8h}$ -tiempo de la RM 375-2008-TR).
3. **Equipos de Protección Personal Auditiva (Prioridad 3):** Son el último recurso y tienen limitaciones importantes. Solo son efectivos si se seleccionan correctamente, se usan consistentemente y se mantienen en buen estado.
 - Selección según ISO 4869-1: calcular la atenuación requerida y elegir protectores con $SNR \geq$ diferencia entre $L_{EX,8h}$ medido y 85 dB(A).
 - La eficacia real en campo es significativamente menor que la atenuación nominal (los trabajadores no siempre los usan correctamente).
 - Los protectores auditivos nunca deben ser la única medida de control.

7.3. Herramienta de Decisión: Curva de Exposición Permisible ISO/NIOSH

El siguiente gráfico es la herramienta de decisión en campo para determinar si un trabajador está en riesgo en función de su nivel de exposición y el tiempo que permanece en esa condición. Si las condiciones medidas caen en la zona roja, se requiere intervención inmediata.

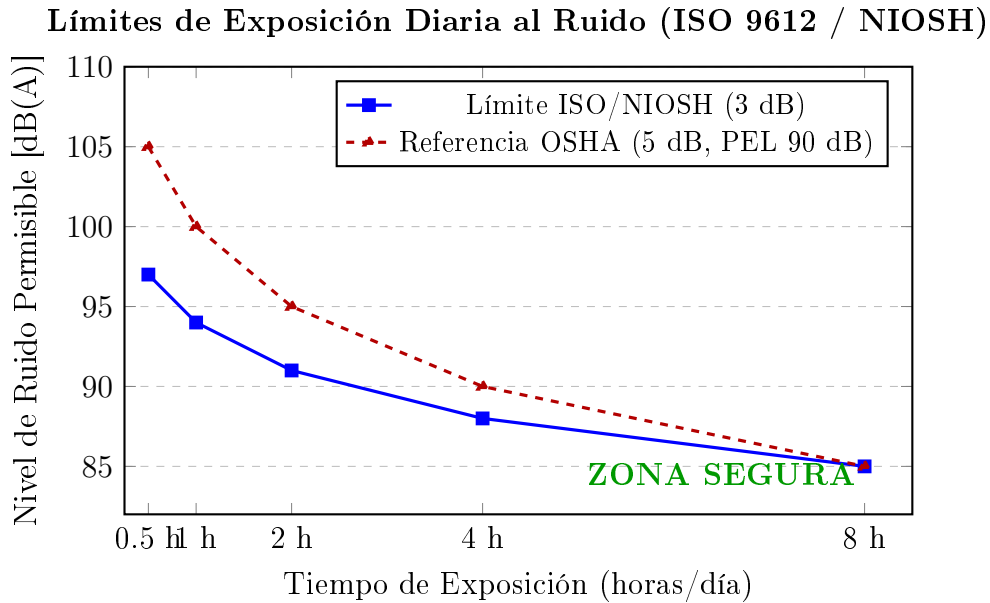


Figura 2: Curva de decisión para exposición diaria al ruido. La curva azul (ISO 9612/NIOSH, tasa de intercambio de 3 dB) es más protectora que la referencia OSHA (tasa de 5 dB, PEL de 90 dB). Nótese que a 2 horas de exposición, la diferencia entre ambos criterios es de 4 dB, lo que evidencia la subestimación del riesgo con la tasa de 5 dB. La RM 375-2008-TR peruana no especifica tasa de intercambio; se recomienda aplicar el criterio ISO/NIOSH.

El uso práctico de esta curva es directo: si se mide que un grupo de trabajadores de manufactura opera 4 horas a 95 dB(A) y otras 4 horas a 88 dB(A), el $L_{EX,8h}$ resultante supera los 85 dB(A) y la situación cae en zona roja, requiriendo acción correctiva inmediata. Esta herramienta permite al ingeniero o médico ocupacional comunicar el riesgo al cliente de manera visual y contundente.

8. Hacia un Programa de Conservación Auditiva (PCA) en la Empresa

La gestión del ruido no puede limitarse a mediciones puntuales. Cuando la evaluación confirma exposiciones superiores a 85 dB(A), la empresa debe implementar un **Programa de Conservación Auditiva (PCA)** continuo [2]. Los componentes mínimos de un PCA técnicamente sólido son:

1. **Monitoreo periódico de la exposición al ruido:** Repetición de las mediciones de dosimetría ISO 9612 cuando se produzcan cambios en el proceso productivo, incorporación de nuevos equipos o modificación de las jornadas de trabajo.
2. **Audiometría ocupacional de referencia y periódica:** Audiometría de referencia al ingreso del trabajador (baseline), seguida de audiometrías anuales para los trabajadores expuestos a $L_{EX,8h} \geq 85$ dB(A). El objetivo es la detección precoz del Cambio de Umbral Estándar (CUE / STS), definido como un cambio de ≥ 10 dB en el promedio de 2000, 3000 y 4000 Hz en cualquier oído respecto al baseline.

3. **Selección y provisión de EPP auditivo:** Con metodología ISO 4869-1 o el método “Long Method” de NIOSH para garantizar que el nivel bajo el protector sea de 70 a 80 dB(A), evitando tanto la subprotección como la sobreprotección (que aísla al trabajador de señales de seguridad).
4. **Capacitación anual:** El trabajador debe comprender qué es la hipoacusia laboral, por qué es irreversible, cómo usar correctamente su EPP auditivo y cómo reportar síntomas.
5. **Registro y gestión documental:** Conservar los informes de dosimetría, audiogramas y registros de entrega de EPP durante toda la vida laboral del trabajador y por al menos 30 años adicionales (enfermedad de larga latencia).

9. Limitaciones del Presente Artículo

El presente trabajo tiene limitaciones que deben considerarse al interpretar sus contenidos. En primer lugar, los datos epidemiológicos peruanos utilizados provienen de fuentes secundarias con metodologías y poblaciones heterogéneas; el subregistro endémico de enfermedades ocupacionales en el sector de industria general limita la representatividad de las cifras presentadas. En segundo lugar, la Figura 1 consolida datos de múltiples estudios sin aplicar una metodología de revisión sistemática o metaanálisis, por lo que sus valores deben interpretarse como indicativos de tendencia y no como tasas de prevalencia validadas. En tercer lugar, la normativa peruana se encuentra en constante evolución; las disposiciones vigentes al momento de la redacción podrían haber sido modificadas posteriormente. Finalmente, la fórmula de ISO 1999 presentada es una versión simplificada con fines pedagógicos; su aplicación rigurosa requiere la consulta directa del Anexo A de la norma, que contiene los coeficientes diferenciados por frecuencia y sexo.

10. Conclusiones

La gestión del riesgo por exposición al ruido en la industria peruana se encuentra en un punto de inflexión que exige evolucionar desde el cumplimiento meramente formal de un límite numérico hacia una prevención técnica integral, fundada en dosimetría de ingeniería y vigilancia audiológica continua. La hipoacusia laboral es irreversible: ninguna cirugía ni medicamento restituye las células ciliadas destruidas. Esta irreversibilidad convierte la prevención no en una opción, sino en la única estrategia racionalmente justificada.

Ante la generalidad metodológica de la normativa nacional vigente (RM 375-2008-TR y Ley 29783), que establece el límite de 85 dB(A) para 8 horas pero no provee la metodología de cuantificación, la adopción de la norma ISO 9612 constituye una referencia técnica necesaria para llenar este vacío metodológico. Esta norma proporciona una vía técnicamente validada para calcular el $L_{EX,8h}$ con rigor de ingeniería, cuantificar la incertidumbre del resultado y brindar seguridad jurídica a la empresa ante inspecciones de SUNAFIL y demandas de trabajadores.

Asimismo, la evidencia médica analizada demuestra que el impacto del ruido supera ampliamente la esfera auditiva: sus efectos cardiovasculares, cognitivos y psicosociales hacen de la exposición crónica al ruido un determinante de salud general que merece

el mismo nivel de atención que cualquier agente químico o tóxico industrial. La implementación de un Programa de Conservación Auditiva con los componentes definidos en este artículo no representa un costo operativo adicional: representa la eliminación de un pasivo laboral de enorme magnitud, tanto humana como económica.

Finalmente, en un contexto de creciente mecanización y aceleración productiva en todos los sectores de la economía peruana, la inversión en dosimetría certificada, vigilancia audiométrica sistemática y controles de ingeniería acústica constituye una estrategia de sostenibilidad operativa de largo plazo. Proteger la audición del trabajador es sinónimo de proteger su capacidad comunicacional, su seguridad en el trabajo y su dignidad laboral a lo largo de toda su vida productiva.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Financiamiento

Este trabajo no recibió financiamiento externo.

Referencias

- [1] World Health Organization. (2021). *Deafness and hearing loss: Key facts*. Geneva: WHO. Recuperado de <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>
- [2] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2023). *Noise and Hearing Loss Prevention*. Centers for Disease Control and Prevention. Recuperado de <https://www.cdc.gov/niosh/topics/noise/default.html>
- [3] Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo (MTPE). (2024). *Boletín Estadístico: Notificaciones de Accidentes de Trabajo, Incidentes Peligrosos y Enfermedades Ocupacionales*. Sistema Informático de Notificación de Accidentes de Trabajo (SAT). Lima: MTPE. Recuperado de <https://www2.trabajo.gob.pe/estadisticas/estadisticas-accidentes-de-trabajo/>
- [4] Aquino-Canchari, C. R., Huaman-Castillon, K. M., & Jimenez-Mozo, F. (2022). Enfermedades ocupacionales en minería en el Perú, 2011–2020. *Revista de la Asociación Española de Especialistas en Medicina del Trabajo*, 31(3), 275–282.
- [5] International Organization for Standardization. (2025). *ISO 9612:2025 Acoustics – Determination of occupational noise exposure – Methodology* (3.^a ed.). Ginebra: ISO. [Reemplaza a ISO 9612:2009]
- [6] International Organization for Standardization. (2013). *ISO 1999:2013 Acoustics – Estimation of noise-induced hearing loss*. Ginebra: ISO.
- [7] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (1998). *Criteria for a Recommended Standard: Occupational Noise Exposure. Revised Criteria*. DHHS Publication No. 98-126. Cincinnati: NIOSH.

- [8] Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo del Perú. (2008). *Resolución Ministerial N.º 375-2008-TR: Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico*. Lima: MTPE.
- [9] Liberman, M. C., & Kujawa, S. G. (2017). Cochlear synaptopathy in acquired sensorineural hearing loss: Manifestations and mechanisms. *Hearing Research*, 349, 138–147. doi:10.1016/j.heares.2017.01.003
- [10] Henderson, D., Bielefeld, E. C., Harris, K. C., & Hu, B. H. (2006). The role of oxidative stress in noise-induced hearing loss. *Ear and Hearing*, 27(1), 1–19. doi:10.1097/01.aud.0000191942.36672.f3
- [11] Kujawa, S. G., & Liberman, M. C. (2009). Adding insult to injury: Cochlear nerve degeneration after "temporary" noise-induced hearing loss. *Journal of Neuroscience*, 29(45), 14077–14085.
- [12] Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., & Stansfeld, S. (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*, 383(9925), 1325–1332. doi:10.1016/S0140-6736(13)61613-X
- [13] Masterson, E. A., Bushnell, P. T., Themann, C. L., & Morata, T. C. (2016). Hearing impairment among noise-exposed workers – United States, 2003–2012. *MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report*, 65(15), 389–394.
- [14] Cerro-Romero, S. M., Valladares-Garrido, D., & Valladares-Garrido, M. J. (2020). Factores asociados a hipoacusia inducida por ruido en trabajadores de una empresa metalmeccánica de Talara, Piura, período 2015–2018. *Revista del Cuerpo Médico Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo*, 13(2), 122–127.
- [15] Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2008). *Occupational Noise Exposure – Standard 29 CFR 1910.95*. Washington D.C.: US Department of Labor.
- [16] Mirza, R., Kirchner, D. B., Dobie, R. A., & Crawford, J. (2018). Occupational noise-induced hearing loss. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 60(9), e498–e501.
- [17] Themann, C. L., & Masterson, E. A. (2019). Occupational noise exposure: A review of its effects, epidemiology, and impact with recommendations for reducing its burden. *Journal of the Acoustical Society of America*, 146(5), 3879–3905.