

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

“EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN AL RUIDO DE LOS
TRABAJADORES DE UNA MINA SUBTERRÁNEA POLIMETÁLICA
A CAUSA DE LOS SUB-PROCESOS Y ACTIVIDADES
DESARROLLADAS EN LA EXPLOTACIÓN”

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
“INGENIERO DE HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL”

ELABORADO POR:

SAMUEL CÁLET VÁSCONES RANGEL

ASESOR:

MSC. ROSA AMPARO BECERRA PAUCAR

LIMA - PERÚ

2016

DEDICATORIA

A los trabajadores mineros, héroes anónimos del desarrollo de la sociedad, en memoria de quienes dejaron su salud o vidas en cumplimiento de su labor.
A mi familia por su comprensión y apoyo moral, por ser la fuerza que me impulsa a seguir siempre adelante.
A mis colegas y amigos, por su apoyo en esta investigación.

AGRADECIMIENTO

La presente es un esfuerzo en el cual directa o indirectamente, participaron varias personas, leyendo, opinando, corrigiendo y acompañándome en la conclusión de la misma.

Mi profundo agradecimiento a los docentes de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería, por las enseñanzas transmitidas y por su compromiso de hacer de la minería peruana, un lugar más seguro y saludable.

¡Muchas gracias!

1.	CAPÍTULO I – INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Antecedentes históricos	2
1.2.	Antecedentes de investigación	5
1.3.	Descripción de la realidad problemática	9
1.4.	Formulación del problema	9
1.4.1.	Problema principal.....	9
1.4.2.	Problemas específicos	9
1.5.	Objetivos	10
1.5.1.	Objetivo General	10
1.5.2.	Objetivos específicos	10
1.6.	Justificación e importancia	10
1.7.	Hipótesis	11
1.7.1.	Hipótesis general	11
1.7.2.	Hipótesis específicas	11
2.	CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO/LEGAL.....	12
2.1.	ACTIVIDADES MINERAS DENTRO DEL ESTUDIO	13
2.1.1.	MÉTODOS DE MINERÍA SUBTERRÁNEA.....	22
2.1.2.	EQUIPOS PARA LA MINERÍA SUBTERRÁNEA.....	34
2.2.	MARCO NORMATIVO.....	49
2.2.1.	CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL PERÚ (1993)	49
2.2.2.	LEY N° 29783	50
2.2.3.	D.S. N° 005-2012-TR	50
2.2.4.	R.M. N° 375-2008-TR.....	51
2.2.6.	R.M. N° 312-2011.....	59
2.3.	MARCO CONCEPTUAL.....	59
2.3.1.	ANATOMÍA Y FISIOLÓGÍA DEL OIDO.....	59
2.3.2.	CAMPOS DE AUDICIÓN	62
2.3.3.	DAÑOS AUDITIVOS POR CAUSAS LABORALES	63
2.3.4.	CONCEPTOS BÁSICOS.....	70
2.3.6.	REPRESENTATIVIDAD DE LOS RESULTADOS	108
3.	CAPÍTULO III - EVALUACIÓN DE LA EXPOSICION	111
3.1.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	112
3.1.1.	TIPO, NIVEL Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	112
3.1.2.	POBLACIÓN, MUESTRA Y METODOLOGÍA DE MUESTREO.....	113
3.1.3.	DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	113
3.1.4.	ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.....	113
3.1.5.	LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	113
3.1.6.	INSTRUMENTOS PARA EL REGISTRO DE DATOS	114
3.1.7.	METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE RUIDO.....	115
3.2.	RESULTADOS	115
3.2.1.	GRUPOS DE EXPOSICIÓN SIMILAR.....	115
3.2.2.	CÁLCULO del L.s.c. TEST KOLMOGOROV-SMIRNOFK	116
4.	CAPÍTULO IV - HIPÓTESIS Y CONCLUSIONES DE LA TESIS	120
4.1.	CONCLUSIONES:.....	121
4.2.	RECOMENDACIONES	122
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	123
6.	ANEXOS.....	124

Índice de figuras, tablas y anexos:

Figura 1: Métodos de perforación	26
Figura 2: Mina de cámaras y pilares en un filón plano	30
Figura 3: Explotación por sub-niveles con perforadora circular y carga en galerías cruzadas	34
Figura 4: Equipo para frentes de pequeño tamaño	40
Figura 5: Equipo de perforación para pozos profundos	41
Figura 6: Cargador CLV	42
Figura 7: Máquina Perforadora de pozos	43
Figura 8: Sistema auditivo	67
Figura 9: Curvas de audición ósea y aérea	75
Figura 10: Fases de la pérdida de audición	76
Figura 11: Longitud de onda, amplitud y frecuencia	77
Figura 12: Amplitud eficaz	79
Figura 13: Curvas de igual sonoridad	81
Figura 14: Corrección para curvas de igual sonoridad	82
Figura 15: Redes de ponderación	82
Figura 16: Curvas iso sonoras y redes de ponderación	83
Figura 17: Umbrales absolutos de audibilidad	84
Figura 18: Efecto del pabellón auditivo y el sonido	85
Figura 19: Umbral absoluto de audición	86
Figura 20: Umbral diferencial de intensidad	86
Figura 21: Mínima variación perceptible	87
Figura 22: Mínima variación frecuencia	87
Figura 23: Mínima diferencia perceptible	88
Figura 24: MDP/dB vs dB	88
Figura 25: MDP/Hz vs Hz	88
Figura 26: Suma de niveles sonoros	90
Figura 27: Partes del sonómetro	94
Figura 28: Partes del micrófono	94
Figura 29: Respuesta relativa del micrófono	96
Figura 30: Sonómetro Svantek y calibrador	119
Tabla 1: Anexo 7-E "Nivel de Ruido"	63
Tabla 2: Frecuencia y tipo de ruido	68
Tabla 3: Frecuencia y longitud de onda	69
Tabla 4: Nivel umbral de audición	104
Tabla 5: Nivel umbral de audición en país industrializado	104
Tabla 6: Nivel umbral de audición según edad	105
Tabla 7: menoscabo por exposición según ISO 1999	106
Tabla 8: Límites de exposición según NIOSH	107
Tabla 9: Límites de exposición para ruido de impacto	108
Tabla 10: Límites de exposición según OSHA	109
Tabla 11: Exposición equivalente según 86/188/CEE	110
Tabla 12: Nivel permisible de exposición según ACGIH	111
Tabla 13: Precisión de sonómetros	113
Tabla 14: Test Kolmogorov - Smirnofk	113
Tabla 15: Número de muestras según G.E.S.	114
Tabla 16: Tabla de dígitos al azar	115

RESUMEN

La exposición laboral al ruido de los trabajadores de una mina subterránea en la región centro del país en el proceso de explotación, es evaluada en dos factores que según la evaluación de exposición a agentes de riesgo para la salud, se consideran como relevantes, los sub-procesos y las actividades dentro de estos; el desconocimiento de su influencia podría subestimar la evaluación del riesgo a ruido de los trabajadores y por consiguiente la efectividad del programa de protección auditiva.

Se realiza un análisis de los resultados de 273 mediciones de ruido de tipo sonometrías puntuales de turno completo, para el proceso de explotación en mina subterránea y sus 9 sub-procesos y 19 actividades a las que se exponen los 9 puestos de trabajo estudiados, entre en el año 2013 y conduciendo a mostrar las diferencias entre los resultados de las mediciones.

ABSTRACT

The workers exposure to noise at a subterranean mine in the center of the country due to mining processes are evaluated by two factors according to the agents exposure assessment. They consider as relevant the subprocesses and activities among those. The unknown influence may underestimate the risk assessment to noise and therefore the noise control program efficiency.

The results from 273 noise measurements during the mining process and its 9 sub processes and 19 activities which the 9 job descriptions are exposed to during 2013 leading to demonstrate differences between measurements results.

1. CAPÍTULO I – INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El efecto del ruido laboral sobre la audición humana es conocido desde tiempos remotos. Ocupaciones como la herrería, la calderería y otras industrias metalúrgicas conducían a la larga a la sordera de quienes las practicaban.

Plinio el Viejo (28-79 DC) había observado que los nativos que vivían y pescaban cerca de las cascadas y rápidos del alto Nilo ensordecían (Rosen, 1974).

Hacia el año 1700, Bernardino Ramazzini (1633-1714) describía, en su obra “De Morbis Artificum Diatriba”, los efectos del ruido sobre la audición de los broncistas en estos términos: “...Existen broncistas en todas las urbes y en Venecia se agrupan en un solo barrio; allí martillan el día entero para dar ductilidad al bronce y fabricar luego con él vasijas de diversas clases; allí también sólo ellos tienen sus tabernas y domicilios, y causan tal estrépito que huye todo el mundo de un paraje tan molesto. Dáñase pues principalmente el oído del continuo fragor y toda la cabeza por consiguiente; ensordecen poco a poco y al envejecer quedan totalmente sordos; el tímpano del oído pierde su tensión natural de la incesante percusión que repercute a su vez hacia los lados en el interior de la oreja debilitando y pervirtiendo todos los órganos de la audición...” (Werner et al., 1995; González, 2000).

La investigación sistemática de tales efectos más allá de la observación empírica debió esperar al siglo XX, cuando la tecnología hizo posible cuantificar y medir no sólo el sonido en sus diferentes aspectos (intensidad y contenido espectral), sino también la propia audición. Debido a la imposibilidad ética de experimentar intencionalmente con la audición humana, por ejemplo induciendo pérdidas auditivas por exposición a ruidos controlados, los científicos recurrieron a reunir grandes cantidades de datos obtenidos de situaciones de exposición a ruidos de carácter laboral. En algunos casos se ha utilizado la hipótesis denominada de igualdad de los efectos temporarios, según la cual la disminución auditiva temporal (y por lo tanto reversible) ante una exposición a ruidos de determinadas características es una réplica de la pérdida auditiva permanente al cabo de varios años de reiterada exposición al mismo tipo de ruidos. Esta hipótesis permite realizar experimentos menos cuestionables, al no implicar daños permanentes sino temporarios en los sujetos investigados, los cuales pueden extrapolarse a los efectos irreversibles. Sin embargo, la hipótesis ha revelado no ser del todo correcta.

En el célebre libro “Acoustics”, publicado por Leo Beranek en 1954, se describen los primeros criterios tentativos en relación con los niveles capaces de dañar el oído. En este caso el criterio, propuesto por Kryter en 1950, estaba dado en términos de lo que en Psicoacústica se conoce como bandas críticas.² Según el mismo, se establecía un límite para el nivel de presión sonora en cada banda crítica de 85 dB por encima del umbral de audición (Tabla 1). Si en todas las bandas críticas el nivel del ruido estaba 5 dB por debajo del límite, entonces ante exposiciones laborales de 8 horas diarias y 50 semanas al año durante 5 años la probabilidad de tener daño auditivo era muy baja. Si, en cambio, la exposición estaba 5 dB por encima en alguna banda, aún en una exposición durante un año la probabilidad de que algunas personas expuestas tuvieran daño permanente era alta (Beranek, 1986).

La minería como actividad productiva se desarrolla en nuestro país desde hace varios siglos. El Perú a nivel de Latinoamérica es el 1er productor de oro, zinc, estaño y plomo, y a nivel mundial, es el 1er productor de plata, el 2do productor mundial de cobre. La minería es una actividad de alto riesgo toda vez que los trabajadores mineros están expuestos a diferentes factores de riesgos ocupacionales, en la extracción de minerales metálicos como: oro, cobre, zinc, plata, plomo, hierro, estaño, y molibdeno, con el consiguiente impacto en la economía.

Como en toda labor minera, los trabajadores enfrentan diversos factores de riesgos ocupacionales, en primer lugar, por las condiciones propias del trabajo, actividades inseguras, por factores de riesgos químicos, del mismo modo riesgos físicos como los altos niveles de ruido ocupacional, cuyas consecuencias son daños a la salud del trabajador, enfermedades ocupacionales o accidentes de trabajo.

En el 2012, la Dirección de Salud Ocupacional del Ministerio de Salud, en su Plan de Trabajo de Inspección de Salud Ocupacional (Ministerio de Salud, 2012), en el Sector Minería, reportó que de las enfermedades ocupacionales el 47% corresponden a la hipoacusia y también a neumoconiosis, entre otras enfermedades, estableciendo como causa de las mismas, la falta de identificación, evaluación y control de los riesgos ocupacionales.

En Perú no existen estudios epidemiológicos sobre hipoacusia inducida por ruido, ni tampoco se conoce su riesgo como accidente de trabajo. Para el caso de Chile y Uruguay, ocupa la primera ubicación como enfermedad profesional; y para Brasil y Argentina es la segunda¹.

Las estadísticas de la Agencia de Salud de Inglaterra determina que entre los principales afectados con riesgo de pérdida de audición por el ruido están las personas que trabajan en minería, lo mismo para los EEUU².

Parar el CDC (Centro para el control y prevención de las enfermedades por sus siglas en inglés), el 49% de los mineros varones va a tener pérdida de la audición a los 50 años, comparado con el 9% de la población general, y los costos asociados a la hipoacusia inducida por ruido asciende aproximadamente a 242 millones de dólares al año, sin contar la asistencia médica.

(Alcántara, 2001), mencionó a la minería como la actividad en la que el ruido tiene prevalencia en el riesgo laboral, destacando el sub-registro de datos confiables en el problema acústico.

1* <http://revistaseguridadminera.com/proteccion-personal/proteccion-auditiva/prevencion-de-la-hipoacusia-inducida-por-ruido/>

2* www.hse.gov.uk (Agencia de Salud de Inglaterra) www.cdc.gov (Center for Disease Control de EE.UU.)

“Actualmente el ruido es el riesgo laboral de mayor prevalencia en al minería peruana, por lo que se señala como un verdadero problema de salud pública tanto por sus efectos auditivos como los extra auditivos.

Es sorprendente que a pesar del alto nivel tecnológico alcanzado en las minas, el problema continúa y se esquivan las formas de darle solución y sean los trabajadores los directamente afectados por sus consecuencias.

Uno de los problemas fundamentales que existe en el Perú, en el área de salud ocupacional es el sub registro de datos confiables y sistematizados sobre la magnitud del problema acústico. Esta ausencia no permite sensibilizar a la opinión pública, ni a los trabajadores, ni a los empresarios y autoridades de salud. No se logra mostrar la importante pérdida económica y social que significan los accidentes y enfermedades ocasionadas por el trabajo”.

La Dirección General de Salud Ambiental DIGESA (Ministerio de Salud 2005) emite el siguiente informe:

“En América Latina y el Perú aún no se conoce bien la magnitud que alcanzan las enfermedades ocupacionales. La OIT estima, que en países en vías de desarrollo, el costo anual de los accidentes y enfermedades ocupacionales está entre el 2% al 11% del Producto Bruto Interno (PBI), en el Perú es de aproximadamente \$ 50 000 millones de dólares americanos, es decir entre \$ 1 000 y 5 500 millones de dólares americanos anuales, es posible disminuir estos costos con acciones preventivas promocionales de bajo costo e inversión”.

Esta vez, DIGESA (Ministerio de Salud, 2012), advierte:

“La razón fundamental es que no se están priorizando las acciones preventivas de las enfermedades ocupacionales y los accidentes de trabajo que hoy en día si son evitables y prevenibles, por eso consideramos que la salud ocupacional que es la estrategia para el desarrollo del país”.

1.2. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

Bauer y Kholer, manifiestan que un estudio reveló que más del 90% de los mineros tienen una discapacidad auditiva a la edad de 50 años (Bauer & Kholer, 2000). Además a pesar de los esfuerzos del gobierno (USA) y de la industria en los últimos tres decenios, la pérdida de audición se mantiene relativamente sin cambios en la industria minera. Esto evidencia que es un problema complejo que requerirá la comprensión de sus causas subyacentes. Aunque la ingeniería y los controles administrativos representan los medios deseados de protección de los trabajadores contra la exposición excesiva a ruido, será necesario entender e identificar el lugar donde los mineros recibieron la exposición a ruido y las características específicas (frecuencia, duración, nivel) de las fuentes de ruido.

El Instituto Nacional de la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH por sus siglas en inglés) llevó a cabo una evaluación transversal de las fuentes de ruido y de la exposición al ruido de los trabajadores mineros, para hacer frente a pérdida de la audición en la minería del carbón y proporcionar la información necesaria para la aplicación efectiva de las tecnologías de control. Las evaluaciones de ruido consistieron en determinar la exposición a ruido del trabajador (dosis) en turno completo, realizar estudios de tiempo-movimiento (observaciones de tareas), y los perfiles de ruido para equipos y/o áreas. Fueron realizados en 8 minas subterráneas de carbon, 10 minas de carbon de superficie (tajo abierto) y 8 plantas de preparación de carbón. Los estudios revelaron que más del 40% de los trabajadores monitoreados fueron objeto de exposiciones a ruido superiores a 90 dB(A) TWA. (Bauer, Babich & Viperman, 2006)

NIOSH estima que el 80% de los mineros estadounidenses acuden a trabajar en un ambiente donde la media ponderada en el tiempo (TWA) del nivel de ruido, es superior a 85dB, y que el 25% de ellos están expuestos a un nivel de ruido TWA que supera los 90dB. Las estimaciones de la exposición al ruido de la planta y equipos muestran que el taladro de percusión neumático sigue siendo el principal peligro del ruido en la minería de hoy, también los equipos auxiliares que incluyen ventiladores y sopladores para la ventilación, donde el ruido proviene de la resonancia estructural y la energía del flujo aerodinámico.

También se muestra que la exposición continua equivalente para 8 horas [L_{aeq} (8h)] calculado a partir de los niveles registrados y actividades de trabajo en una mina subterránea de carbón Británico en el que el 70% de las exposiciones estimadas estaban entre 89 y 92 dB. Una muestra más pequeña de la dosimetría personal encontró niveles que también caen dentro de este rango. Estos niveles son menores que las muestras al azar pero todavía muy por encima de los estándares del Reino Unido.

Concluye además que, un programa adecuado de protección auditiva debe incluir una evaluación de riesgos de exposición a ruido, la selección del dispositivo de protección auditivo más adecuado, la educación y la capacitación en su uso, el mantenimiento adecuado y la vigilancia permanente de la audición (McBride, 2004)

En la actualidad, se manifiesta un rápido avance en las minas a cielo abierto y minas subterráneas. Esto debido a las mejoras en la tecnología a través de una mayor eficiencia energética, mayor productividad, implementación de métodos de producción continua y la mecanización en minas, junto con las mejoras en las plantas de procesamiento de minerales. En paralelo a estas mejoras, las fuentes de ruido en el trabajo en la industria minera han mostrado un aumento notable.

En su trabajo, se muestran las fuentes de ruido y los niveles encontrados en las minas, los efectos del ruido en los trabajadores y, finalmente se brindan detalles y sugerencias para reducir estos efectos, junto con un estudio de caso real de la actividad minera en Turquía (Sensogut, 2007).

Los proyectos realizados con el fin de ampliar la productividad en la industria minera, han señalado la necesidad de utilizar maquinaria más grande en paralelo con las mejoras en la tecnología.

Un aumento de la mecanización también se ha traducido en un aumento de los niveles de ruido, lo que lleva a las minas subterráneas, minas a cielo abierto y las plantas de procesamiento de minerales a generar enormes niveles de ruido. El ruido laboral en las minas subterráneas ha alcanzado niveles insoportables debido a la naturaleza de reverberación de los espacios más estrechos. Por lo tanto, es difícil encontrar un ambiente relativamente con bajo nivel de ruido para los trabajadores. Aunque los equipos empleados en minas a cielo abierto son comparativamente más grandes en tamaño, que las que se encuentran en minas subterráneas, se puede decir que es menos importante el ruido emitido por ellos, pues el ruido fácilmente se propaga en forma semiesférica en un campo acústico libre.

En realidad, el ruido se produce durante las labores de extracción (es decir, la perforación y voladura, la excavación, el carguío y el transporte) que se producen en ambos casos, en tajos abiertos y en minas subterráneas lo cual es notable cuando se considera la salud laboral y el desempeño laboral, como las tasas más altas de enfermedades y lesiones en la minería sigue siendo la pérdida auditiva permanente o temporal del trabajador minero.

Además, parece que el ruido puede contribuir con aceleración de las tasas del pulso, el aumento de la presión arterial y un estrechamiento de los vasos sanguíneos. Los trabajadores expuestos a ruido a veces se quejan de nerviosismo, insomnio y fatiga. Por lo tanto, es de mayor importancia para llevar a cabo la investigación sobre este asunto para dar sugerencias a la gerencia de minas con respecto a la salud de los trabajadores y sobre la maximización de la competencia en la productividad. En comparación con los niveles de exposición al ruido en diversas industrias (aeropuerto, maquinaria forestal, industria del cemento, fundición, industria textil, impresión, talleres metálica, sala de máquinas de buques, taller de remachado), los niveles de ruido que se encuentran en la industria de la minería a cielo abierto son segundos sólo después de los que se encuentran cerca de los motores a reacción en los aeropuertos. Pérdida de audición inducida por el ruido suele ocurrir inicialmente a altas frecuencias (3K, 4K, o 6K Hz), y después se extiende a las frecuencias bajas (0,5K, 1k, o 2k Hz).

El ruido, definido como un sonido indeseable, es un subproducto en muchas industrias. Esto es particularmente cierto para la minería. Muchos mineros están expuestos no sólo a los altos niveles de ruido sino también a constantes. La mayor parte de los equipos de excavación grandes utilizado en minas a cielo abierto, no se dicen que son responsables de los niveles excesivos de ruido, ya que en su mayoría están equipados con cabinas que protegen al operario del ruido. Sin embargo, excavadoras de menor capacidad y máquinas móviles diesel han sido aceptadas como las fuentes principales de ruido en las actividades de minería a cielo abierto.

Por otro lado, los equipos continuos de minado, cargadores por etapas, esquiladores, compresores, ventiladores y máquinas de perforación neumática se pueden contar como los principales causantes de niveles de ruido excesivos en la minería subterránea.

Además, equipos como cribas vibratorias, interruptores y molinos de rotación, que son de uso común en la mayoría de las plantas de procesamiento de mineral se pueden definir como otras fuentes importantes de ruido.

Los mineros tienen que soportar una variedad de fuentes de ruido en su entorno, durante su trabajo diario. Contrariamente a la creencia popular, la pérdida auditiva derivada de altos niveles instantáneos de ruido ocurre rara vez; sin embargo, la causa principal es la exposición prolongada a altos niveles de sonido.

La duración del tiempo, durante el cual los trabajadores están expuestos a un ruido excesivo es muy importante, ya que juega un papel más importante en la distinción del tipo de pérdida auditiva que puede ser temporal o permanente.

Los parámetros que son contundentes para la pérdida de audición inducida por ruido, son el tiempo de exposición, el nivel de ruido, la edad y la condición física de los trabajadores (existencia de otra enfermedad, etc.). Para la mayoría de los efectos del ruido, no hay cura. Sin embargo, la prevención de la exposición excesiva de ruido es la única manera de evitar daños a la salud.

Alcántara, menciona que de los 8500 trabajadores evaluados por el Programa Nacional de Salud Ocupacional a través de los Centros de Prevención de Riesgos de Trabajo de ESSALUD (Junín-Pasco-Perú) se deduce que la hipoacusia neuro-sensorial es la enfermedad ocupacional más frecuente en las minas de la región central del país (Alcántara, 2001 pp.22). El autor añade,

Los procesos o puestos de trabajo con mayor proporción (22%) de enfermos asociados a la ocupación (EAO) y que por lo tanto requieren atención prioritaria son los siguientes: perforación, motoristas, equipos pesados, chancado, molienda y mantenimiento mecánico.

Para Hethmon, el programa de conservación de la audición y el programa de la evaluación de la exposición están integrados en la medida en que los resultados del monitoreo de ruido se utilizan para determinar a quienes deben realizarse los exámenes audiométricos.

Los mapas de ruido de área se desarrollan a partir de las lecturas del medidor de nivel de sonido, basado en un estudio de referencia que se actualiza anualmente. La dosimetría personal se lleva a cabo en todos los puestos de trabajo en áreas con potencial de exposición al ruido por encima de 80dB(A) utilizando una tasa de cambio de 5dB y un criterio de 85dB. El límite de exposición ocupacional para la exposición a ruido continuo o intermitente es de 85dB(A) como un TWA de 8 horas (Hethmon, 1997)

1.3. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En el Perú, actualmente es uno de los países de sur América de mayor interés para las inversiones internacionales. Uno de los sectores de mayor crecimiento es el sector minero, donde se destacan importantes inversiones en la región norte y sur del territorio nacional.

Hoy en día, se aprecia un incremento significativo en la producción de la industria minera, debido al mejoramiento tecnológico de las maquinarias, los métodos de producción continua y el avance de la mecanización en minas a cielo abierto. Junto con esto, se aprecia también un notable incremento de fuentes generadoras de ruido y en consecuencia el aumento del nivel de riesgo de exposición ocupacional de los trabajadores al ruido.

Es importante mencionar, que la hipoacusia ocupacional, conocida también como pérdida auditiva inducida por ruido (PAIR), representa la mayor enfermedad ocupacional y una de las principales preocupaciones de la actividad minera.

Además de la pérdida auditiva, el ruido puede contribuir con otros efectos en la salud del trabajador, como acelerar la frecuencia del pulso, aumento de la presión arterial y una reducción de los vasos sanguíneos. Los trabajadores expuestos al ruido a veces padecen de nerviosismo, insomnio y fatiga.

En la minería subterránea polimetálica, existe la preocupación por conocer los niveles de exposición al ruido de los trabajadores en los sub-procesos de desatado, extracción, limpieza, perforación, riego, voladura, sostenimiento, ventilación y servicios mineros varios. Igualmente existe la necesidad de identificar los Grupos de Exposición Similar (GES) cuya exposición al ruido supera los Límites Máximos Permisibles establecidos en la legislación nacional, lo cual servirá de base para plantear un programa de protección auditiva para los puestos de trabajo con riesgo de desarrollar Hipoacusia Ocupacional.

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.4.1. Problema principal

¿Cuáles son las características de la exposición laboral a partir de los resultados de medición de ruido en los operadores frente al tipo de sub-proceso, actividad y puesto de trabajo a desarrollar en una mina subterránea?

1.4.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuáles son las características de la exposición laboral al ruido analizando el proceso de medición de ruido en los operadores frente al

tipo de sub-proceso, actividad y puesto de trabajo a desarrollar en una mina subterránea polimetálica?

- b. ¿De qué manera, la inclusión de los factores sub-proceso, actividad o puesto de trabajo mejoraría la eficacia de las estrategias de planteamiento para la protección auditiva?

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

Evaluar la exposición al agente físico ruido en la explotación de una mina subterránea polimetálica en los sub-procesos, actividades y puestos de trabajo.

1.5.2. Objetivos específicos

- a) Realizar un diagnóstico situacional de los sub-procesos, actividades y puestos de trabajo realizados dentro de la mina subterránea polimetálica.
- b) Identificar la presencia del ruido en los sub-procesos, actividades y puestos de trabajo del proceso explotación de la mina subterránea polimetálica.
- c) Caracterizar el ruido en los sub-procesos, actividades y puestos de trabajo del proceso explotación de la mina subterránea polimetálica.
- d) Identificar los grupos de exposición similar en los trabajadores de la mina subterránea polimetálica.
- e) Comparar los resultados con estándares determinados, incluyendo los errores utilizando la estadística como herramienta de validez de datos.

1.6. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El estudio que se presenta ha considerado una temática relevante en el ámbito de la salud laboral, pues se considera que el riesgo de hipoacusia ocupacional, es el más importante en la industria minera en la actualidad.

Un efectivo programa de protección auditiva, tiene como punto de partida, la caracterización confiable del nivel de exposición a ruido de los trabajadores en sus puestos y áreas de trabajo, así como también el estudio detallado de las actividades dentro del proceso de explotación minera. Lo cual podría representar un riesgo adicional de pérdida auditiva inducida por ruido para estos trabajadores.

Los resultados de la investigación servirán de base para plantear programas de prevención de la hipoacusia ocupacional en la minería subterránea, considerando sub-procesos y actividades y sobre la cual se basará la estrategia de acción de los profesionales de la salud ocupacional. Ayudará a identificar los puestos de trabajo con alto nivel de exposición al ruido y con riesgo de

desarrollar la hipoacusia ocupacional, para recomendar una vigilancia médica periódica, también servirán para evaluar la eficacia de los programas de protección auditiva.

1.7. HIPÓTESIS

1.7.1. Hipótesis general

Los niveles de ruido al que se exponen los operadores en una mina subterránea, muestran que la exposición laboral es más riesgosa dependiendo de factores como sub-proceso y actividad a desarrollar cuya inclusión es prioritaria en el planeamiento para la protección auditiva.

1.7.2. Hipótesis específicas

Los niveles de ruido medidos representan una mayor exposición ocupacional de acuerdo a sub-procesos y actividad; y los riesgos relativos derivados de ellos.

La evaluación de la exposición a ruido frente al tipo de sub-proceso y/o actividad proporcionan un riesgo a la salud del trabajador

2. CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO/LEGAL

2.1. ACTIVIDADES MINERAS DENTRO DEL ESTUDIO

2.1.1. RIESGOS PARA LA SALUD EN OBRAS SUBTERRANEAS .

Bohuslav Málek

Las obras subterráneas incluyen la construcción de túneles para carreteras, autopistas, vías férreas y el tendido de tuberías de alcantarillado, agua caliente, vapor, conducciones eléctricas, cables telefónicos. Entre los riesgos de este trabajo se incluyen el duro trabajo físico, el polvo de sílice cristalino, el polvo de cemento, el ruido, las vibraciones, los escapes de los motores de gasóleo, las emanaciones químicas radón y la falta de oxígeno.

A veces, estos trabajos deben realizarse en ambientes presurizados. Los trabajadores de estas obras corren el riesgo de sufrir lesiones graves y, a menudo, fatales. Algunos riesgos son los mismos que los de la construcción en superficie, pero agravados por la condición de trabajar en un espacio encerrado. Otros riesgos son específicos del trabajo subterráneo. Entre éstos se incluyen: golpes de maquinaria especial, electrocución, sepultamiento por desprendimientos de techo o paredes, asfixia o lesiones por fuegos y explosiones. En los trabajos en túneles se pueden encontrar bolsas de agua no previstas que pueden producir inundaciones y anegamientos.

La construcción de túneles requiere un esfuerzo físico considerable. El consumo de energía durante el trabajo manual suele ser de 200 a 350 W, con una gran parte de carga estática muscular. El ritmo cardíaco durante los trabajos con barrenos de aire comprimido y martillos neumáticos alcanza 150-160 pulsaciones por minuto. El trabajo se suele realizar en condiciones microclimáticas desfavorables de frío y humedad, y a veces en posturas de trabajo fatigosas. Todo ello suele ir acompañado de otros factores de riesgo que dependerán de las condiciones geológicas locales y del tipo de tecnología que se utilice. Esta pesada carga de trabajo puede contribuir notablemente a la fatiga por calor.

La mecanización puede reducir la dureza del trabajo manual. Pero la mecanización conlleva sus propios riesgos. El trabajo de máquinas móviles grandes y potentes en un lugar cerrado introduce riesgos de lesiones graves al personal que trabaja en su proximidad, que puede ser golpeado o aplastado por ellas. La maquinaria para estos trabajos también puede originar polvo, ruido, vibraciones y gases de los tubos de escape de los motores diesel. Por otro lado, la mecanización necesita menos mano de obra, lo que reduce el número de

personas expuestas, pero a cambio de un mayor desempleo y todos los problemas que ello lleva consigo.

La sílice cristalina (llamada también sílice libre y cuarzo) aparece de manera natural en muchos tipos de roca. La piedra arenisca es prácticamente sílice pura; el granito puede contener un 75 %, los esquistos un 30 %, y la pizarra un 10 %. La piedra caliza, el mármol y la sal, a efectos prácticos, no contienen sílice alguna. Teniendo en cuenta que la sílice está omnipresente en la corteza terrestre, es preciso tomar muestras de polvo, al menos al comienzo de un trabajo subterráneo y siempre que el tipo de roca cambie a medida que el trabajo avanza.

Siempre que se procede al machacado, perforación, molienda o cualquier otro tipo de pulverización de una roca que contenga sílice, se originará polvo de sílice inhalable. Los principales causantes de la incorporación de polvo de sílice en el aire son las perforadoras de aire comprimido y los martillos neumáticos. El trabajo con estas herramientas se ejecuta más frecuentemente en el frente de avance del túnel y, por tanto, los trabajadores en estas zonas son los que sufren una mayor exposición. En tales casos, es de obligada aplicación la tecnología de eliminación del polvo.

Las voladuras no sólo generan escombros que vuelan, sino también polvo y óxidos nitrosos. Para evitar una excesiva exposición, el procedimiento usual consiste en impedir el reingreso en la zona afectada hasta que el polvo y los gases se hayan disipado.

Una práctica corriente consiste en hacer las voladuras al final del último turno de trabajo del día y limpiar los escombros durante el turno siguiente.

Al mezclar el cemento se origina polvo de cemento. En altas concentraciones, este polvo irrita la membrana mucosa y respiratoria, pero no se han observado efectos crónicos. Sin embargo, si se deposita sobre la piel y se mezcla con el sudor, el polvo de cemento puede causar dermatosis. Cuando el hormigón húmedo se pulveriza in situ, también puede causar dermatosis.

El ruido producido en los trabajos subterráneos puede ser considerable. Entre las fuentes de ruido principales se incluyen los martillos y perforadoras neumáticos, los motores de gasóleo y los ventiladores. Dado que el trabajo se realiza en un recinto cerrado, existe también un ruido importante a causa de la reverberación.

Los niveles de ruido punta pueden sobrepasar los 115 dBA, siendo la exposición media ponderada de 105 dBA.

Existe una tecnología, que debe ser aplicada, para la reducción del ruido de la mayoría de las máquinas.

Los trabajadores en obras subterráneas también pueden encontrarse expuestos a vibraciones en todo el cuerpo producidas por la maquinaria móvil y a vibraciones en brazos y manos a causa del manejo de perforadoras y martillos neumáticos. Los niveles de aceleración transmitidos a las manos por las herramientas neumáticas pueden alcanzar los 150 dB (equivalentes a 10 m/s²). Los efectos perniciosos de las vibraciones de brazos y manos pueden verse agravados por un ambiente de trabajo frío y húmedo.

Si el terreno tiene una alta saturación de agua o si el trabajo se realiza por debajo del agua, la zona de trabajo puede tener que ser presurizada para mantenerla libre de agua. Para el trabajo por debajo del nivel del agua se utilizan cajones de aire comprimido. Cuando los trabajadores en este ambiente hiperbárico efectúan una rápida transición a la presión atmosférica normal, corren el peligro del mal de descompresión y los trastornos asociados al mismo. Dado que la absorción de la mayoría de gases y vapores tóxicos depende de su presión parcial, a mayor presión, mayor será la absorción. Por ejemplo, 10 ppm de monóxido de carbono (CO) a 2 atmósferas de presión producirán el mismo efecto que 20 ppm CO a 1 atmósfera.

Las sustancias químicas se utilizan en los trabajos subterráneos de diversas formas. Por ejemplo, capas poco coherentes de roca se pueden estabilizar con una inyección de resina de formaldehído de urea, con espuma de poliuretano o con mezclas de cristales de agua sódica con formamida o con acetato de etilo y de butilo. A consecuencia de ello, durante su aplicación se pueden producir en la atmósfera del túnel vapores de formaldehído, amoníaco, alcohol etílico o butílico o diisocianatos.

Con posterioridad a su aplicación, estas sustancias contaminantes pueden extenderse por el túnel desde las paredes circundantes, y, por tanto, pueden dificultar el control pleno de su concentración, incluso empleando una ventilación mecánica intensiva.

El radón aparece de forma natural en algunas rocas y puede filtrarse en la atmósfera de trabajo, donde se degradará, convirtiéndose en otros isótopos radiactivos. Algunos de ellos emiten radiaciones alfa y pueden inhalarse, aumentando el riesgo de cáncer de pulmón.

Los túneles que se construyen en zonas habitadas también pueden ser contaminados por sustancias procedentes de las tuberías circundantes. El agua,

el gas doméstico y de calefacción, el gasóleo, la gasolina, etc. se pueden filtrar en un túnel, o si algunas de las tuberías portadoras sufren una rotura durante la excavación, pueden penetrar en el lugar en que se está trabajando.

La construcción de pozos verticales empleando tecnología minera plantea problemas de salud similares a los de los trabajos en un túnel. En aquellos en que se encuentran presentes sustancias orgánicas, es de temer la aparición de restos de descomposición microbiana.

Los trabajos de mantenimiento en túneles para el tráfico se diferencian de otros trabajos similares en superficie, principalmente por la dificultad de instalar el equipo de control y seguridad; por ejemplo, ventilación para la soldadura eléctrica; ello puede influir en la calidad de las medidas de seguridad. El trabajo en los túneles en los que discurren tuberías de agua caliente o vapor, acarrea una intensa carga térmica, que exigirá un régimen especial de trabajo y períodos de descanso.

La falta de oxígeno se puede dar en los túneles tanto porque el oxígeno sea desplazado por otros gases, como porque sea consumido por microbios o por oxidación de las piritas. Los microbios también pueden desprender metano o etano que no sólo desplazan al oxígeno sino que, en una concentración suficiente, pueden crear el riesgo de explosiones. El dióxido de carbono también es generado por la contaminación microbiana. Las atmósferas de espacios que han permanecido cerrados largo tiempo pueden estar compuestas en su casi totalidad de nitrógeno, del 5 al 15 % de dióxido de carbono y carecer prácticamente de oxígeno.

El dióxido de carbono se introduce en el pozo desde el terreno circundante debido a los cambios de presión atmosférica.

La composición del aire en el interior del pozo puede cambiar muy rápidamente: durante la mañana puede ser normal y por la tarde ser deficiente en oxígeno.

2.1.2. *TECNICAS DE MINERIA SUBTERRANEA*-Hans Hamrin

En todo el mundo existen minas subterráneas que trabajan con los métodos y equipos más variados. Cada mina es diferente en cuanto a ubicación, instalaciones y operaciones subterráneas, todo ello dependiendo del tipo de mineral que se extrae, la localización y las formaciones geológicas, así como de aspectos económicos como el mercado del mineral y la disponibilidad de capital. Las minas son lugares peligrosos y la mayoría de los trabajos son duros. Los riesgos para los trabajadores van desde catástrofes como hundimientos, explosiones e incendios hasta accidentes, exposición al polvo, ruido, calor, etc.

La protección de la salud y la seguridad de los trabajadores es una cuestión fundamental en las minas correctamente gestionadas y, en la mayoría de los países, esta normativa es de obligado cumplimiento.

2.1.2.1. La mina subterránea

La mina subterránea es una fábrica situada en el interior de la tierra en la que trabajan los mineros para extraer minerales ocultos en los estratos rocosos. Los mineros pican, arrancan y barrenan para poder acceder y extraer el mineral, es decir, la roca que contiene una mezcla de minerales de los cuales como mínimo uno es procesable y convertible en un producto comercializable. El mineral se transporta a la superficie para refinarlo y obtener un concentrado de alta calidad. El trabajo en el interior del estrato rocoso y a gran profundidad requiere un tipo de infraestructura especial: una red de pozos, galerías y cámaras conectados con la superficie que permitan el movimiento de los trabajadores, las máquinas y el mineral dentro de la mina. El pozo es el acceso hacia el interior y de él salen las galerías laterales que conectan la estación del pozo con los frentes de explotación. La rampa interna es una galería inclinada que conecta los niveles subterráneos a distintas cotas (o profundidades). Todas las galerías deben disponer de servicios tales como ventilación y aire fresco, electricidad, agua y aire comprimido, desagües y bombas para el agua subterránea que se filtra así como un sistema de comunicación.

2.1.2.2. Planta y sistemas de extracción

El castillete identifica la mina en superficie. Se encuentra situado justo encima del pozo, la arteria principal de la mina a través de la cual entran y salen los mineros, se bajan los suministros y equipos y se suben a la superficie el mineral y los materiales residuales.

El pozo y las instalaciones de extracción varían según las necesidades de capacidad, profundidad, etc. Cada mina debe disponer como mínimo de un segundo pozo como salida de emergencia.

Las instalaciones de extracción y los pozos deben cumplir una normativa estricta. El equipo de extracción (p. ej., máquina de extracción, frenos y soga) ha de estar diseñado con un amplio margen de seguridad y ser revisado periódicamente. También el interior del pozo debe ser inspeccionado regularmente por personal situado sobre el montacargas. En caso necesario, los botones de parada situados en todas las paradas permiten activar el freno de emergencia.

En cada parada las puertas de la verja del pozo impiden la entrada al montacargas si éste no se encuentra en la misma.

Cuando el montacargas se detiene en una parada, una señal abre la puerta. Una vez que los mineros han entrado en el montacargas y se ha cerrado la puerta, otra señal permite que el mismo suba o baje por él.

Según los casos, es el operador del montacargas quien activa la señal o, siguiendo las instrucciones situadas en cada parada, son los propios mineros quienes marcan la detención.

Por lo general, los mineros son muy conscientes de los riesgos que corren durante los desplazamientos por el pozo y las galerías de extracción, lo que limita el número de accidentes.

2.1.2.3. Perforación con trépano de diamantes

Antes de comenzar la explotación se localiza el filón (veta) en la roca y se define su anchura, longitud y profundidad para obtener una visión tridimensional del mismo.

La perforación con trépano de diamantes se utiliza para explorar un estrato rocoso y puede iniciarse desde la superficie o desde una galería de la mina. En esta técnica, un trépano provisto de pequeños diamantes corta un núcleo cilíndrico que es recogido en los tubos adyacentes (con apariencia de testigos de concreto). A continuación, se analiza el núcleo para determinar el contenido de la roca. Se inspeccionan las muestras y se dividen en porciones para analizar su contenido en metales. Para localizar los filones, hay que desarrollar amplios programas de perforación, efectuando barrenos a intervalos regulares en sentido horizontal y vertical para identificar las dimensiones del yacimiento.

2.1.2.4. Trazado de las minas

El trazado de una mina incluye las excavaciones necesarias para instalar las infraestructuras con que trabajar en los tajos y preparar la continuidad futura de las operaciones. Entre los elementos rutinarios, realizados todos con técnicas de perforación- voladura-excavación, se encuentran las galerías horizontales, las rampas inclinadas y los pozos verticales o inclinados.

2.1.2.4.1. Creación de pozos

Para crear un pozo se excava la roca avanzando en sentido vertical. Normalmente, esta operación, que suele asignarse a contratistas, requiere personal especializado y equipos específicos, como un marco de superficie para excavación de pozos, un sistema de elevación con un gran cangilón de draga al final de un cable y un sistema especial de desescombros del pozo.

El personal de excavación de pozos se expone a muchos riesgos, pues trabaja en el fondo de una excavación profunda y vertical, y comparte el mismo cangilón de draga con el material y la roca barrenada. Además, los trabajadores que se encuentran en el fondo del pozo no disponen de espacio para resguardarse de los objetos que puedan caerles encima; es por ello que debe realizarse por personal con la experiencia adecuada.

2.1.2.4.2. *Galerías y rampas*

Una galería es un túnel horizontal de acceso que se utiliza para transportar roca y mineral. La excavación de una galería es una actividad rutinaria dentro del trazado de una mina. En minas mecanizadas, se utilizan trenes electrohidráulicos perforadores múltiples de doble brazo para perforar los frentes. Una galería típica presenta un perfil de 16,0 m² de sección y el frente se perfora a una profundidad de 4,0 m. Los barrenos se cargan de forma neumática con un explosivo (normalmente fueloil de nitrato amónico (ANFO) a granel) que se transporta en un camión especial. Se utilizan detonadores no eléctricos (Nonel) de retardo breve.

Las labores de desescombro se realizan con vehículos CLV (cargar, levantar, volcar) con palas de cerca de 3,0 m³ de capacidad. Los escombros se transportan directamente al sistema de paso de mineral, donde se transfieren a camiones de mayor tonelaje. Las rampas son pasajes con desniveles entre 1:7 y 1:10 (muy superiores a los de las carreteras normales), que conectan uno o más niveles y permiten una tracción adecuada para los equipos pesados de autopropulsión.

Tienen a menudo forma de espiral. La excavación de las rampas, que se realiza con el mismo equipo utilizado en las galerías, es un trabajo de rutina dentro del trazado de una mina.

2.1.2.4.3. *Excavación de pozos*

Un pozo es una abertura vertical o muy inclinada que conecta diferentes niveles en una mina y puede servir como escalera para acceder al tajo, como paso del mineral o como parte del sistema de ventilación de la mina. La excavación de pozos es una tarea difícil y peligrosa pero necesaria. Los métodos utilizados van desde la simple perforación y voladura manuales hasta la excavación mecánica de la roca con maquinaria especializada.

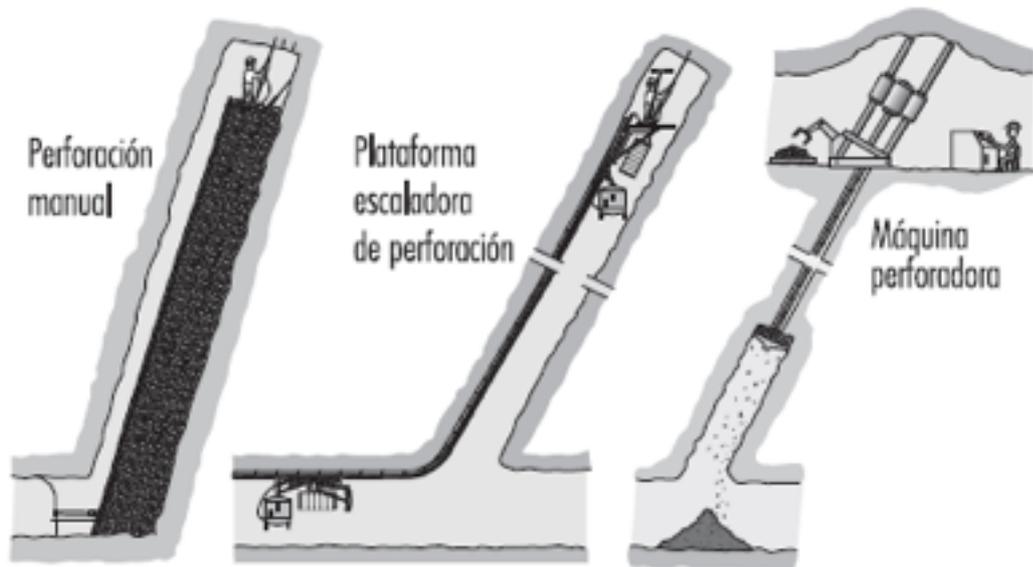


Figura 1 - Métodos de Perforación - Fuente: OIT

La **excavación manual** es un trabajo difícil, peligroso y físicamente duro que exige una gran agilidad, fuerza y resistencia y sólo puede ser realizado por mineros expertos y en buenas condiciones físicas. Por regla general, la sección del pozo se divide mediante un muro de largueros de madera en dos compartimientos, uno de los cuales se mantiene expedito para la escalera de acceso al frente, a las conducciones de aire, etc. y el otro se va llenando con la roca procedente de la voladura formando una plataforma de perforación para el minero. La división con largueros de madera se va ampliando progresivamente. Este trabajo, que exige subir por la escalera, montar los andamiajes de madera, perforar la roca y realizar el barrenado, es realizado en un espacio escaso y mal ventilado por un solo minero, pues no hay espacio para un ayudante. En las explotaciones mineras se sigue buscando alternativas viables a estos métodos peligrosos y duros de excavación manual de pozos.

El **vehículo de cremallera** para excavación de pozos evita el uso de la escalera y facilita considerablemente el método manual. Es un vehículo que sube por el pozo sobre unos raíles anclados en la roca y proporciona una plataforma sólida de trabajo desde la cual el minero puede picar la roca. Con este vehículo pueden perforarse pozos muy profundos con una seguridad mucho mayor que la que ofrece el método manual. Con todo, la excavación de pozos sigue siendo un trabajo muy peligroso.

La **perforadora (RBM)** es una máquina potente que rompe la roca de forma mecánica. Se instala encima del punto planificado para el pozo y con ella se perfora un barreno piloto de unos 300 mm de diámetro hasta alcanzar un

objetivo de nivel inferior. La perforación piloto se sustituye por un cabezal de trépano del diámetro del pozo previsto y se coloca la máquina de forma invertida, de forma que el cabezal de trépano gira y se eleva para crear un pozo circular del tamaño deseado.

2.1.2.5. CONTROL DE TIERRAS

El control de tierras es crucial para las personas que trabajan en el interior de un estrato rocoso y de especial interés en minas mecanizadas, donde se utilizan equipos con ruedas de neumáticos en secciones de galería de 25,0 m², frente a las minas con equipos sobre raíles donde la sección suele ser de sólo 10,0 m².

En estos casos, la altura del techo de 5,0 m es excesiva para que el minero pueda utilizar una barra de saneamiento del techo y comprobar los posibles desprendimientos de rocas.

En las galerías subterráneas se utilizan varios modos de asegurar el techo. En los volados suaves se perforan barrenos muy juntos y se cargan con un explosivo de baja potencia. La voladura produce una perforación sin llegar a fragmentar la roca exterior.

Sin embargo, a menudo se producen grietas en el estrato rocoso que no resultan visibles en superficie, por lo que los desprendimientos de rocas es un riesgo siempre presente. Este riesgo puede reducirse mediante el anclaje de las rocas, es decir, insertando y sujetando varillas de acero en los taladros. Los anclajes sujetan el estrato rocoso, evitan que las grietas aumenten de tamaño, ayudan a estabilizar el estrato rocoso y dan mayor seguridad al entorno subterráneo.

2.1.2.5.1. *Carga subterránea*

El mineral arrancado en los tajos de todo el yacimiento se acarrea hasta un vertedero situado cerca del pozo de extracción.

Se abren galerías especiales de acarreo para un transporte lateral más amplio que normalmente están formadas por instalaciones de trenes con vagonetas. El acarreo sobre raíles ha demostrado ser un sistema de transporte eficiente para volúmenes y distancias importantes y está provisto de locomotoras eléctricas que no contaminan el ambiente subterráneo como los camiones diesel utilizados en las minas sin raíles.

2.1.2.5.2. *Manejo del mineral*

En el trayecto desde el tajo al pozo de extracción, el mineral pasa por varias estaciones en las que el mineral recibe diversos tratamientos.

La excavadora de carga, que utiliza un cangilón de acarreo para transportar el mineral del tajo al rumbadero, está equipada con tambores giratorios, cables y poleas y puede producir un movimiento de carga de vaivén.

La excavadora de carga no requiere que el piso del tajo esté acondicionado y puede cargar el mineral almacenado en montones irregulares de escombros.

El vehículo CLV, con motor diesel y ruedas neumáticas, transporta la carga contenida en su cangilón (de tamaño variable) desde el montón de escombros al rumbadero.

El rumbadero es una abertura vertical o muy inclinada a través de la cual la roca cae por el peso de la gravedad desde un nivel superior a otro inferior. Los rumbaderos a veces están situados en una secuencia vertical para recoger el mineral de los niveles superiores en un punto común en la galería de arrastre.

La canaleta es la trampilla situada en el fondo del rumbadero.

Los rumbaderos normalmente finalizan cerca de la galería de arrastre de forma que, cuando se abre la canaleta, el mineral cae llenando los camiones situados debajo de la misma.

Cerca del pozo, los trenes con mineral pasan por una estación de volcado donde puede descargarse el material en un depósito. Un cribón en la estación de volcado impide que caigan en el depósito rocas grandes. Estas últimas se parten mediante volado o con martillos hidráulicos; también puede instalarse una machacadora debajo del cribón para un control posterior de tamaño.

Debajo del depósito se encuentra un calibrador que comprueba automáticamente que el volumen y el peso de la carga no exceden de las capacidades del eskip y del elevador.

Cuando un eskip vacío, que es un contenedor para desplazamiento vertical, llega a la estación de llenado, se abre una canaleta en el fondo del calibrador que lo llena con la carga adecuada. Cuando el elevador levanta el eskip cargado hasta el marco de superficie, se abre una canaleta para descargar material en el depósito de superficie. La elevación del eskip puede realizarse de forma automática utilizando un circuito cerrado de televisión para supervisar el proceso.

2.1.3. *MÉTODOS DE MINERÍA SUBTERRÁNEA*

En las minas subterráneas la elección del método de explotación depende de la forma y el tamaño del filón (veta), el valor de los minerales contenidos, la composición, estabilidad y fuerza del estrato rocoso, así como de la demanda de

producción y las condiciones de seguridad del trabajo (aspectos que a veces son casi incompatibles).

Aunque las técnicas de minería han avanzado con el paso del tiempo, el presente artículo se centra en las utilizadas en las minas total o parcialmente mecanizadas de finales del siglo XX.

Aunque cada mina es diferente, en todas se intenta conseguir un entorno de trabajo seguro y un funcionamiento rentable.

2.1.3.1. Filones planos con cámaras y pilares

Este sistema se aplica a la extracción en suelo horizontal o ligeramente inclinado sin exceder los 20°. Los filones suelen ser de tipo sedimentario y la roca es resistente tanto para el techo como para la explotación (concepto relativo ya que los mineros tienen la opción de instalar anclajes de roca para reforzar el techo cuando su estabilidad es dudosa). El sistema de pilares es uno de los métodos más utilizados.

Con esta técnica, el mineral se extrae perforando horizontalmente y avanzando a lo largo de un frente de explotación múltiple dejando espacios vacíos o cámaras detrás de él. Los pilares (secciones de roca) se van dejando entre las cámaras para evitar el hundimiento del techo. El resultado suele ser un diseño regular de cámaras y pilares con un tamaño que depende de la estabilidad del estrato rocoso pero con el objetivo de extraer la mayor cantidad posible de mineral. A tal fin, es necesario un cuidadoso análisis previo de factores como la resistencia de los pilares o la resistencia de los estratos del techo. Los anclajes en la roca se utilizan habitualmente para aumentar la resistencia de la roca en los pilares. Las cámaras entre pilares sirven de paso para los camiones que transportan el mineral al almacén de la mina.

El frente en este tipo de minas se perfora como en el caso de las galerías. La anchura y altura del tajo dependen del tamaño de la galería, que puede ser bastante grande. En las minas de altura normal se utilizan grandes trenes perforadores y máquinas compactas cuando el mineral presenta un grosor inferior a 3,0 m. El yacimiento se va explotando gradualmente desde la parte superior, lo que permite asegurar el techo a una altura adecuada para los mineros. Las secciones inferiores se extraen en estratos horizontales perforando barrenos planos y realizando la voladura contra el espacio superior. El mineral se carga en camiones en el frente. Normalmente, se utilizan retro-excavadoras y volquetes convencionales. En las minas de poca altura se utilizan camiones y vehículos CLV especiales.

El sistema de pilares resulta muy eficaz. La seguridad depende de la altura de las cámaras y de las normas de control de suelos. Los principales riesgos son los accidentes causados por hundimiento de rocas y equipos en movimiento.

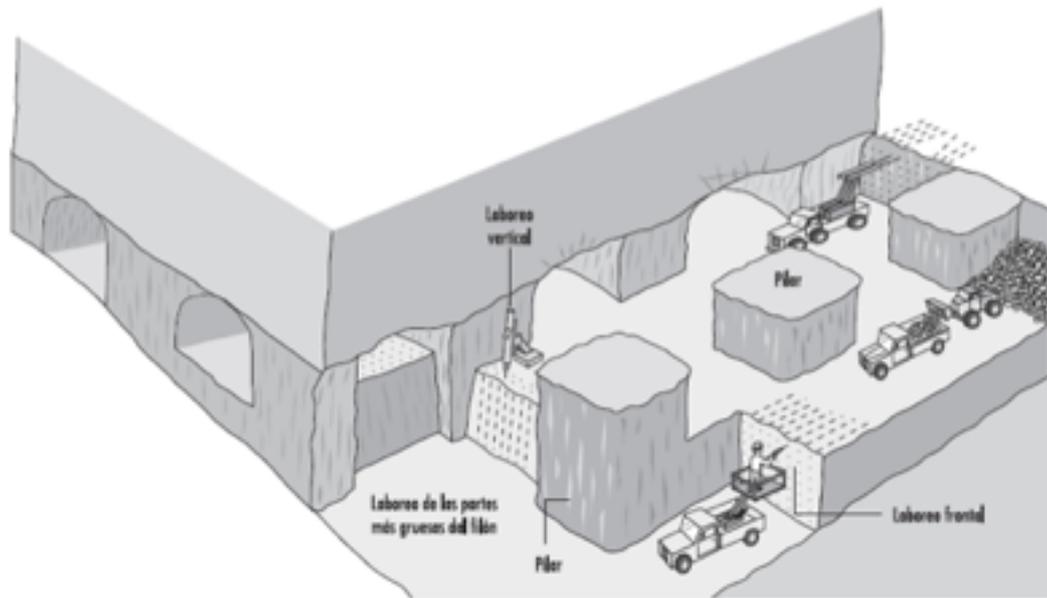


Figura 2 - Mina de cámaras y pilares en un filón plano - Fuente: OIT
2.1.3.2. Filones inclinados con pilares

Esta técnica se aplica a la extracción en suelo liso con una inclinación comprendida entre 15° y 30° sobre el plano horizontal. Se trata de una inclinación excesiva para los vehículos con neumáticos e insuficiente para la caída de la roca por la fuerza de gravedad.

El enfoque tradicional del yacimiento inclinado se basa en el trabajo manual. Los mineros realizan perforaciones en el frente con máquinas sostenidas por ellos mismos. El frente se limpia con palas de arrastre.

El trabajo en el frente inclinado es difícil. Los mineros tienen que trepar por encima de los montones de rocas arrancadas cargando con las perforadoras, las poleas y los cables de acero. A los riesgos de caída de rocas y de accidentes, hay que añadir los debidos al ruido, el polvo, la ventilación inadecuada y el calor. Cuando es posible introducir la mecanización en los filones inclinados de mineral, se utiliza la técnica de la "extracción en escalón", convirtiendo la galería de "fuerte inclinación" en una "escalera" con peldaños con un ángulo adecuado para que puedan subir las máquinas sin raíl. Los peldaños se moldean en forma de diamante con tajos y vías de carga con el ángulo elegido para todo el yacimiento.

La extracción del mineral se inicia con perforaciones horizontales a partir de una galería combinada de acceso y carga.

El tajo inicial es horizontal en la dirección del techo. El siguiente tajo comienza a una pequeña distancia del anterior y en la misma dirección. Este procedimiento se repite desplazándose hacia abajo para crear una serie de peldaños y poder extraer el mineral.

Para soportar el techo se mantienen secciones de la explotación.

Esta operación se realiza perforando dos o tres barrenos adyacentes en toda su longitud y comenzando el siguiente un paso más abajo, dejando un pilar alargado entre ellos. Las secciones de estos pilares pueden recuperarse posteriormente perforando y barrenando desde el tajo inferior.

Los modernos equipos sin raíles se adaptan bien a este tipo de minería. La extracción puede mecanizarse totalmente utilizando equipos móviles estándar. El mineral extraído es recogido en el tajo por vehículos CLV que lo trasladan a camiones para su transporte al pozo. Si el tajo no tiene altura suficiente para cargar el mineral en camiones, puede cargarse en espacios especialmente excavados en la vía de acarreo.

2.1.3.3. Explotación por franjas-almacenes

La explotación por franjas-almacenes puede considerarse el método "clásico" de minería, que actualmente ha sido sustituida en gran medida por métodos mecanizados.

Se aplica a filones con límites regulares y fuerte inclinación situados dentro de un estrato rocoso resistente. También el mineral extraído debe resistir el almacenamiento en las laderas (p. ej., los minerales con sulfuros tienden a oxidarse y descomponerse en contacto con el aire). Su principal característica es el uso de la fuerza de gravedad para el tratamiento del mineral: el mineral extraído del tajo cae directamente a vagonetas a través de canaletas, lo que evita la carga manual, tradicionalmente la tarea más común y menos agradable de las minas. Hasta la aparición de la pala oscilante neumática en el decenio de 1950, no existía una máquina adecuada para cargar la roca en las minas subterráneas.

La extracción del mineral se realiza en planchas horizontales, comenzando por la base del tajo y avanzando hacia arriba. La mayor parte de la roca barrenada permanece en el tajo formando una plataforma de trabajo que permite al minero perforar los barrenos en el techo y asegurar los muros del tajo.

Cuando la roca barrenada aumenta en un 60 %, se retira el 40 % del mineral en la base para mantener un espacio de trabajo libre entre la parte superior del escombros y el techo.

El mineral restante se retira cuando la voladura alcanza el límite superior del tajo.

Al tener que trabajar encima del montón de escombros y desde el acceso a la escalera resulta imposible utilizar equipos mecanizados. Sólo son útiles los equipos ligeros que pueda utilizar el propio minero. La perforadora neumática, de unos 45 kg de peso, es la herramienta habitual utilizada en este tipo de tajos. El minero, situado sobre la parte superior del montón de escombros, coloca la broca de acero de la perforadora contra el techo y comienza a trabajar en una de los trabajos más difíciles en minería.

2.1.3.4. Sistema de corte y relleno

El sistema de cortar y llenar está indicado para filones de gran inclinación dentro de un estrato rocoso de estabilidad buena o media. El mineral se extrae en planchas horizontales comenzando desde un corte en la base y avanzando hacia arriba, dejando que los límites del tajo se ajusten a la explotación irregular. Así, se pueden extraer de forma selectiva secciones ricas y dejar intactas las de menor calidad.

Una vez que se ha desescombrado el tajo, el espacio limpio se vuelve a rellenar para formar una plataforma de trabajo que permita extraer la siguiente plancha y mejorar la estabilidad de los muros del tajo.

Este tipo de explotación en un entorno de trabajo sin equipos de raíles comprende una galería de acarreo a lo largo del yacimiento en el nivel principal, una roza en el tajo con desagües para el relleno hidráulico, una rampa en espiral excavada en el suelo con salidas de acceso al tajo y un pozo desde el tajo hasta el nivel superior para la ventilación y el transporte del relleno.

El *rebaje de cabeza* se utiliza en el sistema de corte y relleno con roca seca y arena hidráulica como material de relleno. En este sistema, el tajo se perfora desde abajo barrenando una plancha de 3,0 m a 4,0 m de grosor. Así, se extrae toda el área de explotación y se barrena todo el tajo sin interrupción. Los barrenos "superiores" se perforan con simples perforadoras de vagoneta.

Este sistema deja una superficie de roca basta en el techo; después del desescombro, su altura puede ser de unos 7m.

Antes de que los mineros puedan entrar en esa zona, hay que asegurar el techo alisándolo con un barrenado suave y eliminando las rocas sueltas. Esta

operación la realizan los mineros con equipos manuales y trabajando desde el montón de escombros.

En el sistema *frontal*, se utilizan equipos sin raíles para la extracción del mineral. Para rellenar se emplean relaves de arena que se distribuyen en los tajos subterráneos a través de conducciones de plástico. Los tajos se rellenan casi en su totalidad, lo que crea una superficie suficientemente dura para ser atravesada por equipos con neumáticos. La explotación en los tajos está totalmente mecanizada con trenes y vehículos CLV.

El frente es un muro vertical de 5,0 m a lo largo del tajo con una abertura de 0,5 m por debajo de él. Se perforan en el frente barrenos horizontales de cinco metros de longitud y se barrena el mineral contra la abertura inferior.

El volumen producido en una voladura depende del área frontal y no es comparable al que se consigue con el sistema anterior de rebaje de cabeza. Sin embargo, la producción del equipo sin raíl es muy superior al método manual y el control del techo puede realizarse con el tren perforador, que realiza un barrenado ligero junto con la voladura del tajo. El vehículo CLV, equipado con un inmenso cangilón de carga y grandes ruedas, es una herramienta versátil para el desescombro y el acarreo y se desplaza con facilidad por la superficie de relleno. En un tajo de doble frente, el tren perforador trabaja en un lateral mientras el CLV trabaja en el montón de escombros en el otro extremo, haciendo un uso eficiente del equipo y mejorando el rendimiento.

En el sistema por sub-niveles se extrae el mineral en tajos abiertos.

El relleno del tajo con un material consolidado después de la extracción permite a los mineros volver posteriormente a recuperar los pilares entre los tajos, obteniéndose una tasa de recuperación muy alta del filón.

El desarrollo del sistema por sub-niveles es complejo. El yacimiento se divide en secciones de una altura vertical de unos 100 m en la que se preparan sub-niveles conectados a través de una rampa inclinada. Las secciones del yacimiento se dividen a su vez lateralmente en tajos y pilares y se crea una galería de arrastre en el suelo con salidas para la carga en puntos de vaciado.

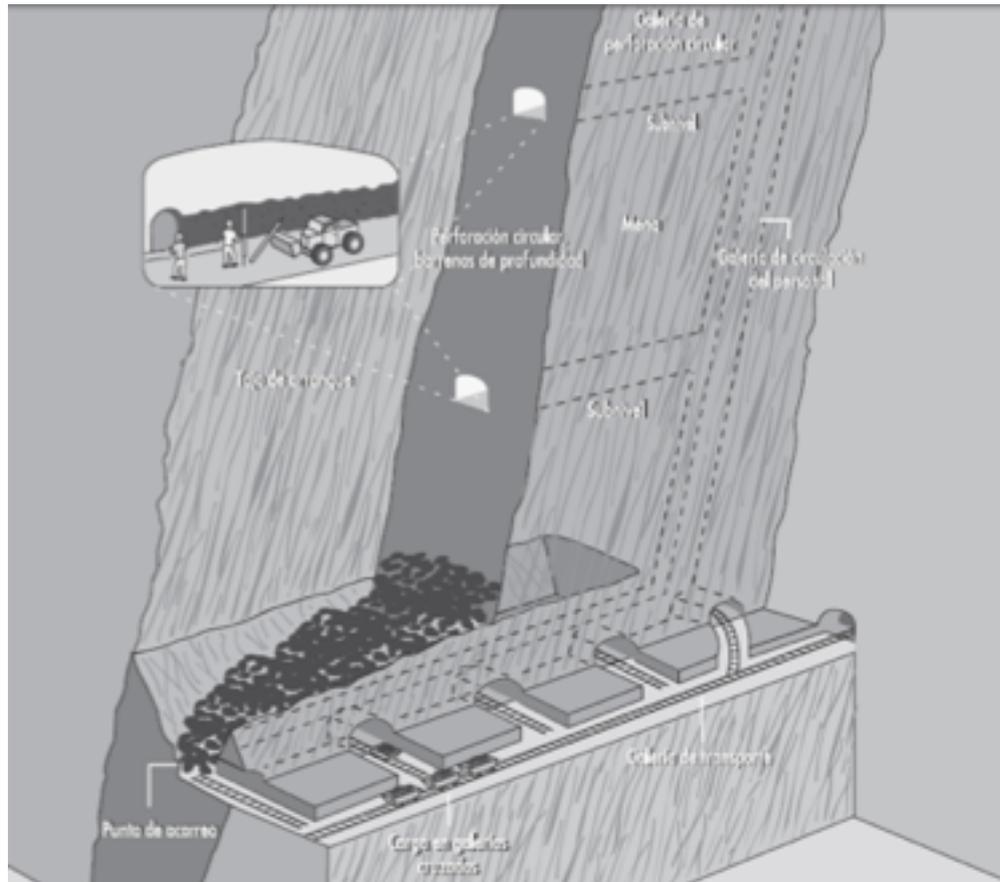


Figura 3 - Explotación por subniveles con perforadora circular y carga en galerías cruzadas - Fuente: OIT

Una vez arrancado el mineral, el tajado por sub-niveles será una abertura rectangular a lo largo del yacimiento. La base del tajado es un embudo en forma de V que permite enviar el material barrenado a los puntos de vaciado. Las galerías de perforación para los equipos de pozos profundos se preparan en los sub-niveles superiores.

El barrenado requiere un espacio para que la roca se expanda en volumen, por lo que es necesario preparar una abertura de unos metros de anchura antes de iniciar la voladura de pozos profundos. Esto se consigue aumentando el tamaño de un coladero de abajo a arriba hasta obtener la abertura completa.

Una vez realizada esta operación, el equipo de pozos profundos comienza la extracción en galerías por sub-niveles siguiendo con precisión un plan diseñado por expertos en voladuras especificando la posición de los barrenos, la posición de laminado circular, la profundidad y la dirección de los barrenos. El equipo de perforación continúa hasta finalizar todos los círculos de un nivel. A continuación, se desplaza al siguiente sub-nivel para continuar la perforación.

Entretanto, los barrenos se cargan y un sistema de voladura que cubre un área extensa dentro del tajo hace saltar un gran volumen de mineral de una sola vez. El mineral barrenado cae al fondo del tajo y es recuperado por vehículos CLV que están desescombrando en el punto de vaciado por debajo del tajo.

Normalmente, la perforación de pozos profundos precede a la carga y la voladura, lo que proporciona una reserva de mineral listo para barrenar y permite una explotación efectiva.

El sistema por sub-niveles es un método de extracción productivo.

La eficiencia se mejora utilizando para la perforación de pozos profundos equipos totalmente mecanizados y de funcionamiento continuo. Esta técnica resulta además relativamente segura, pues al realizar la operación de perforación dentro de galerías de sub-nivel y la de desescombro a través de puntos de vaciado se elimina el riesgo potencial de desprendimiento de rocas.

2.1.3.5. Sistema de retirada mediante cráteres verticales

Al igual que el sistema por sub-niveles y el de franjas-almacenes, el sistema de retirada mediante cráteres verticales (RCV) se aplica a la extracción en estratos de gran inclinación aunque utilizando una técnica de voladura diferente: la roca se rompe con cargas pesadas concentradas en barrenos ("cráteres") de gran diámetro (unos 165 mm) a una distancia de 3 m de la superficie rocosa libre. La voladura rompe una abertura en forma de cono en el estrato rocoso alrededor del barreno y permite que el material barrenado permanezca en el tajo durante la fase de explotación, de forma que el relleno de roca ayuda a soportar los muros del tajo. En este caso, el requisito de estabilidad de la roca es menor que en el sistema por sub-niveles.

El desarrollo del sistema RCV es similar al de sub-niveles salvo que se requieren excavaciones superiores e inferiores. La talla superior es necesaria en la primera fase para instalar el equipo de perforación de los barrenos de gran diámetro y para acceder mientras se cargan los barrenos. La talla inferior proporciona la superficie libre necesaria para la voladura RCV. También permite el acceso a un vehículo CLV (manejado por control remoto por un operario que permanece fuera del tajo) para cargar el mineral barrenado en los puntos de vaciado bajo el tajo.

En la voladura RCV normal se utilizan barrenos en patrón de 4,0 m x 4,0 m dirigido en sentido vertical o inclinado con las cargas cuidadosamente situadas a distancias calculadas para liberar la superficie inferior. Las cargas permiten romper una abertura horizontal en la roca de unos 3,0 m de grosor. La roca

barrenada cae al tajo inferior. Controlando la velocidad de desescombro, se mantiene el tajo parcialmente lleno de forma que el relleno de roca ayuda a estabilizar los muros durante la fase de explotación. La última voladura rompe la talla superior, que cae al tajo; después, se desescombra el tajo y se prepara para el relleno.

El sistema RCV utiliza a menudo un sistema de tajos primarios y secundarios en el yacimiento. Los primarios se extraen en la primera fase, se rellenan con material cementado y se dejan compactar. A continuación, los mineros recuperan el mineral de los pilares entre tajos primarios y de los tajos secundarios. Este sistema, junto con el relleno cementado, permite obtener casi el 100 % de la reserva de mineral.

2.1.3.6. Sistema de hundimiento de sub-niveles

El sistema de hundimiento de sub-niveles se aplica a filones con una inclinación importante o moderada y una gran profundidad.

El mineral se fractura en bloques manejables mediante voladura.

El techo se hunde al extraer el mineral y el suelo en la superficie del yacimiento también lo hace (debe acordonarse la zona para evitar el acceso de personal a este área).

El hundimiento de sub-niveles está basado en la fuerza de la gravedad dentro de un estrato rocoso fracturado que contiene mineral y roca. El estrato rocoso se fractura mediante perforación y voladura y, a continuación, se desescombra a través de galerías por debajo del estrato rocoso hundido. Es un método seguro, porque los mineros siempre trabajan en el interior de aberturas del tamaño de una galería.

En este sistema, se abren sub-niveles con galerías de forma regular preparadas dentro del yacimiento con una separación vertical bastante pequeña (entre 10,0 m y 20,0 m). El diseño de la galería es el mismo en todos los sub-niveles (es decir, galerías paralelas a través del yacimiento desde la galería de transporte de base hasta la de techo) pero ligeramente desplazadas en cada sub-nivel con respecto al anterior de forma que las galerías del nivel inferior están situadas entre las galerías del sub-nivel superior.

Una sección transversal de las mismas mostraría un esquema en diamante con galerías verticales y horizontales espaciadas de forma regular, lo que da idea de la complejidad del sistema de hundimiento de sub-niveles. Sin embargo, la excavación de galerías es una tarea fácilmente mecanizable. La posibilidad de

trabajar en frentes múltiples a diferentes sub-niveles favorece una elevada tasa de utilización de los equipos.

Cuando se ha completado el trazado de un sub-nivel, el equipo de perforación de pozos profundos pasa a perforar barrenos en forma de abanico en la roca superior. Cuando todos los barrenos están listos, el equipo se desplaza al sub-nivel inferior.

La voladura de pozos profundos fractura el estrato rocoso por encima de la galería del sub-nivel, iniciando un hundimiento que comienza en contacto con el techo y va retrocediendo hacia el suelo siguiendo un frente recto a través del yacimiento en el sub-nivel. Una sección vertical mostraría una escalera en donde cada sub-nivel superior se encuentra avanzado respecto al sub-nivel inferior.

La voladura rellena el frente del sub-nivel con una mezcla de mineral y desechos. Cuando llega el vehículo CLV, el hundimiento contiene un 100 % de mineral. A medida que avanza la carga, la proporción de roca residual irá aumentando gradualmente hasta que el operario decida que la dilución es excesiva y detenga la carga. Cuando el vehículo se desplaza a la siguiente galería para continuar el desescombro, el técnico en voladuras prepara el siguiente círculo de barrenos.

El trabajo de desescombro en los sub-niveles es una aplicación ideal para el vehículo CLV. Este vehículo, disponible en diferentes tamaños, rellena el cangilón, se desplaza unos 200 m, vacía el cangilón en el rumbadero y vuelve por otra carga.

El sistema de hundimiento de sub-niveles consta de tareas repetitivas (excavación de galerías, perforación de pozos profundos, barrenado y voladura, carga y transporte) que se realizan de forma independiente. Así, el personal y los equipos pueden trasladarse continuamente de un sub-nivel a otro, lo que permite un uso muy eficiente de los mismos. Realmente, la mina es como una fábrica con departamentos. Sin embargo, el sistema de sub-niveles es menos selectivo que otros métodos y no proporciona unas tasas de extracción especialmente eficientes. El hundimiento genera un 20-40 % de residuos y una pérdida de mineral de entre el 15 % y el 25 %.

2.1.3.7. Sistema de hundimiento en bloque

Este sistema es aplicable a explotaciones del orden de 100 millones de toneladas distribuidas en todas las direcciones del estrato rocoso con posibilidad de hundimiento (p. ej., con tensiones internas que, al extraer los elementos de soporte del estrato rocoso, ayudan a fragmentar el bloque barrenado). El

rendimiento anual previsto tiene que situarse entre 10 y 30 millones de toneladas. Estos requisitos hacen que el sistema de hundimiento en bloque sólo pueda aplicarse en algunos filones específicos. Se utiliza en todo el mundo en minas de cobre, hierro, molibdeno y diamantes.

El término *bloque* se refiere al diseño de la mina. El yacimiento se divide en grandes secciones o bloques con un tonelaje suficiente para muchos años de explotación. El hundimiento se induce eliminando el soporte del estrato rocoso directamente debajo del bloque mediante la realización de un corte, una sección de roca de 15 m de alto fracturada mediante perforación de pozos profundos y voladura. Las tensiones creadas por fuerzas tectónicas naturales de considerable magnitud, similares a las que provocan los movimientos continentales, agrietan el estrato rocoso y fracturan los bloques en trozos de un tamaño que les permite pasar por las aberturas de los puntos de vaciado en la mina. A veces, sin embargo, es necesaria la ayuda de los mineros para manejar bloques demasiado grandes.

El sistema de hundimiento de bloques requiere una gran planificación y un trazado inicial detallado, que incluye un complejo sistema de excavaciones bajo el bloque. Aunque éstas pueden variar según el lugar, por lo general incluyen rozas, aberturas cónicas, cribones para separar las rocas de tamaño excesivo y rumbaderos que envían el mineral al vagón de carga.

Las aberturas cónicas excavadas por debajo de una roza recogen el mineral de un área mayor y lo envían a un punto de vaciado en el nivel de explotación inferior. Allí, el mineral es recogido en vehículos CLV y trasladado a rumbaderos.

Los bloques demasiado grandes que no caben en el cangilón se barrenan en puntos de vaciado, mientras que los más pequeños son tratados en el cribón. Los cribones, conjunto de barras de hierro paralelas para clasificar las rocas, se utilizan por lo general en minas de hundimiento de bloques aunque para esta tarea cada vez se emplean más los equipos hidráulicos.

Las brechas en una mina de hundimiento de bloques están sometidas a una elevada presión por la roca, de modo que las galerías y demás aberturas se excavan con la sección mínima posible. Es necesario realizar un cuidadoso anclaje de las rocas y un recubrimiento con hormigón para mantener las aberturas en buen estado.

Adecuadamente aplicado, el sistema de hundimiento de bloques es un método de minería barato y rentable. Sin embargo, no siempre se puede prever la capacidad de hundimiento de un estrato rocoso. Además, el extenso trazado

necesario requiere una larga fase previa antes de comenzar la explotación de la mina, y el retraso en la entrada de ingresos puede influir negativamente en las previsiones económicas que sirvan para justificar la inversión.

2.1.3.8. Sistema por tajos largos

El sistema por tajos largos se aplica a filones de forma uniforme, grosor limitado y extensión horizontal amplia (p. ej., vetas de carbón, capa de potasa o estrato de material de cuarzo explotado en las minas de oro de Sudáfrica) y es uno de los principales métodos utilizados en las minas de carbón. Con este sistema, se extrae el mineral en láminas a lo largo de una línea que se repite para extraer el material en un área más extensa. El espacio más cercano al frente se mantiene abierto mientras que el techo se deja hundir a una distancia segura detrás de los mineros y de su equipo.

El sistema de tajos largos incluye la realización de una red de galerías para acceder al área de explotación y para acarrear el producto extraído hasta el pozo. Dado que la explotación se realiza en forma de una plancha que se extiende a lo largo de una extensión amplia, normalmente pueden diseñarse las galerías en forma de red. Las galerías de arrastre se realizan en la propia veta de carbón. La distancia entre dos galerías de arrastre adyacentes determina la longitud del frente por tajos largos.

2.1.3.9. Relleno

El relleno de los tajos impide que la roca se hunda, manteniendo la estabilidad del estrato rocoso y permitiendo una extracción más completa del mineral. Tradicionalmente, el relleno se ha utilizado en operaciones de corte y relleno pero también se utiliza en los sistemas de sub-niveles y RCV.

Por norma general, los mineros vuelcan los residuos de roca en tajos vacíos en lugar de llevarlos a la superficie. Así, por ejemplo, en las minas de corte y relleno la roca residual es distribuida por el tajo vacío con palas de carga o aplanadoras. En el sistema de *relleno hidráulico* se utilizan relaves de la instalación de preparación mecánica de la mina que se distribuyen en el subsuelo a través de barrenos y tubos de plástico. Los relaves primero se desenlodan y sólo se utiliza la fracción gruesa para el relleno. El relleno es una mezcla de arena y agua, con aproximadamente un 65 % de materia sólida. Al mezclar el cemento en el último vertido, la superficie del relleno se endurece formando un lecho firme para los equipos de ruedas neumáticas.

El relleno también se utiliza en los sistemas de sub-niveles y RCV, en donde se introduce roca machacada como complemento al relleno de arena. La roca

machacada y cribada, obtenida de una cantera cercana, se envía al subsuelo a través de pozos especiales de relleno, donde es cargada en camiones y transportada al tajo, para ser volcada en pozos de relleno especiales.

Los tajos primarios se rellenan con roca cementada que se obtiene vaporizando sobre el relleno una mezcla de polvo de cenizas y cemento antes de distribuirlo a los tajos. Este relleno se endurece formando un pilar artificial para explotar el tajo secundario. Por lo general, no es necesaria la mezcla de cemento cuando se rellenan los tajos secundarios, salvo en los últimos vertidos para obtener un suelo de desescombro firme.

2.1.4. EQUIPOS PARA LA MINERÍA SUBTERRÁNEA

Las minas subterráneas disponen de un grado de mecanización cada vez mayor. Características comunes a todas las máquinas de funcionamiento subterráneo son la articulación sobre ruedas de goma, el uso de motores diesel y la tracción a las cuatro ruedas.

2.1.4.1. Tren perforador de frentes

Este vehículo, dotado de uno o dos brazos con perforadores hidráulicos, es un elemento indispensable en las minas y se utiliza para todos los trabajos de excavación de rocas. Dirigido por un trabajador desde un panel de control, puede realizar 60 perforaciones de 4,0 m de profundidad en pocas horas.



Figura 4 - Equipo para frentes de pequeño tamaño - Fuente: OIT

2.1.4.2. Perforadora de profundidad para pozos

Este equipo perfora barrenos de forma radial alrededor de la galería cubriendo una gran área de roca y rompiendo grandes volúmenes de mineral. Se utiliza en los sistemas de sub-nivel, hundimiento de sub-niveles, hundimiento de bloques y RCV. El operario utiliza un potente perforador hidráulico y almacenamiento en carrusel con brazos extensibles de control remoto para perforar la roca desde una posición segura.



Figura 5 - Equipo de perforación para pozos profundos - Fuente: OIT
2.1.4.3. Camión de carga

El camión de carga es un complemento necesario del tren perforador.

Sobre el transportador se monta una plataforma de servicio hidráulica, un contenedor a presión de explosivos ANFO y una manguera de carga que permite al operario llenar los barrenos en todo el frente en un plazo muy breve de tiempo.

Simultáneamente, pueden introducirse detonadores Nonel para controlar las voladuras individuales.

2.1.4.4. Vehículo CLV

El vehículo versátil de carga-levantamiento-volcado se utiliza para una serie de operaciones, como la explotación del mineral y el manejo de materiales. Existe en varios tamaños, de forma que el minero puede seleccionar el modelo más adecuado para cada tarea y situación. A diferencia de otros vehículos diesel utilizados en las minas, el vehículo CLV se usa a la máxima potencia durante largos períodos de tiempo por lo que genera un gran volumen de humo y gases de escape.

Un sistema de ventilación capaz de diluir y aspirar estos humos es esencial para mantener unos niveles de aire aceptables en el área de carga.



Figura 6 - Cargador CLV - Fuente: OIT

2.1.4.5. Vehículo de cremallera

El vehículo de cremallera para excavación de pozos evita el uso de la escalera y facilita considerablemente el método manual. Es un vehículo que sube por el pozo sobre unos raíles anclados en la roca y proporciona una plataforma sólida de trabajo desde la cual el minero puede picar la roca. Con este vehículo pueden perforarse pozos muy profundos con una seguridad mucho mayor que la que ofrece el método manual. Con todo, la excavación de pozos sigue siendo un trabajo muy peligroso.

2.1.4.6. Perforadora

La perforadora (RBM) es una máquina potente que rompe la roca de forma mecánica. Se instala encima del punto planificado para el pozo y con ella se perfora un barreno piloto de unos 300 mm de diámetro hasta alcanzar un

objetivo de nivel inferior. La perforación piloto se sustituye por un cabezal de trépano del diámetro del pozo previsto y se coloca la máquina de forma invertida, de forma que el cabezal de trépano gira y se eleva para crear un pozo circular del tamaño deseado.



Figura 7 - Máquina Perforadora de pozos - Fuente: OIT

Una máquina con un motor de rendimiento superior a 30 kW deberá estar equipada con una cabina para el maquinista. Las máquinas cuyo motor sea de una potencia inferior a 30 kW deberán equiparse con una cabina, en el caso de que se destinen a un trabajo en que la calidad del aire es insalubre. Se efectuará la medición del nivel de ruido transmitido por el aire, producido por excavadoras, tractores, cargadoras y retro-excavadoras, de acuerdo con la norma internacional de ruidos exteriores aerotransportados emitidos por maquinaria de movimiento de tierras (ISO 1985b). El nivel de ruido en el puesto del maquinista no excederá de 85 dBA (ISO 1985c).

2.1.5. CONTROL DEL TERRENO EN LAS MINAS SUBTERRANEAS.

Luc Beauchamp

El principal objetivo del control del terreno es mantener la seguridad en las excavaciones de rocas y suelo (en las minas subterráneas y en las explotaciones a cielo abierto se utilizan los términos *control de estratos* y *control de laderas*, respectivamente). El control del terreno, que también se aplica mucho en proyectos de ingeniería civil como túneles, plantas hidroeléctricas y repositorios de residuos nucleares, se define como la aplicación práctica de la mecánica de rocas a la minería cotidiana. El US National Committee on Rock Mechanics ha propuesto la definición siguiente: “La mecánica de rocas es la ciencia teórica y práctica del comportamiento mecánico de las rocas y los estratos rocosos y es la rama de la mecánica que estudia la respuesta de rocas y lechos rocosos a los campos de fuerza de su entorno físico”.

Los estratos rocosos muestran un comportamiento extremadamente complejo, por lo que desde el decenio de 1950 la mecánica de rocas y el control del terreno han sido objeto de numerosas investigaciones teóricas y prácticas en todo el mundo.

En cierto modo, el control del terreno es más un arte que una ciencia. Requiere la comprensión de la geología estructural, de las propiedades de las rocas, de las aguas subterráneas y de los regímenes de tensión del terreno, así como de la forma en que interaccionan estos factores. Entre las herramientas disponibles a tal fin se encuentran los métodos de investigación del terreno y de prueba de rocas, las medidas para minimizar el daño causado al estrato rocoso por las voladuras, la aplicación de técnicas de diseño, y la supervisión y soporte del terreno. Últimamente se han realizado importantes desarrollos relacionados con la mecánica de rocas y el control del terreno, como técnicas de diseño empírico y análisis por ordenador del trazado de minas, introducción y uso generalizado de instrumentos de supervisión del terreno y desarrollo de herramientas y técnicas especializadas de soporte al terreno. Muchas explotaciones mineras disponen de departamentos de control del terreno formados por ingenieros y técnicos especialistas.

Las minas subterráneas son más difíciles de abrir y mantener que las explotaciones a cielo abierto, por lo que es necesario dedicarles más recursos y esfuerzos de diseño para el control del terreno que a las segundas. En los métodos tradicionales de minería subterránea, como el de franjas-almacenes y

el de corte y relleno, los trabajadores están directamente expuestos a un terreno potencialmente inestable en la zona de explotación.

Cuando se utilizan métodos de minería no selectivos, como el barrenado, los trabajadores no entran a la zona de explotación.

En las últimas décadas se aprecia una tendencia a sustituir los métodos selectivos por los no selectivos.

2.1.5.1. Tipos de fallos del terreno

Los principales factores de inestabilidad de las minas son su estructura y la tensión de la roca.

Un estrato rocoso está formado por roca intacta y por ciertas estructuras rocosas o discontinuidades estructurales. Entre los principales tipos de estructuras rocosas se encuentran los planos de estratificación (planos divisorios que separan los distintos estratos), los pliegues (de los estratos de roca), las fallas (fracturas por desplazamiento), las contravetas (intrusiones horizontales de roca ígnea) y las fisuraciones (fracturas de origen geológico a lo largo de las cuales no se ha producido un desplazamiento visible). Las propiedades de las discontinuidades estructurales que se enumeran a continuación afectan al comportamiento de los lechos rocosos: orientación, espaciado, persistencia, dureza, apertura y presencia de material de relleno. En una explotación minera, la recogida de la información estructural por parte de los ingenieros y geólogos es un elemento importante del programa de control del terreno. Actualmente, complejos programas informáticos permiten analizar los datos estructurales y la forma y estabilidad de las cuñas en minas a cielo abierto o subterráneas.

La tensión de la roca también puede ser una causa de inestabilidad en las minas, por lo que el conocimiento de la relación tensión-deformación de los lechos rocosos resulta fundamental para realizar un diseño de ingeniería adecuado. Las pruebas de laboratorio sobre muestras cilíndricas de roca procedentes de un núcleo de perforación pueden proporcionar información útil sobre la dureza y la deformabilidad de la roca intacta; cada tipo de roca se comporta de un modo diferente, desde la plasticidad de la sal hasta la elasticidad y la fragilidad de muchas rocas duras. La existencia de fisuras influirá de forma considerable en la dureza y la deformabilidad de todo el estrato rocoso. Existen algunos tipos comunes de fallos de la ladera rocosa tanto en las minas a cielo abierto como en las canteras. El fallo de un bloque deslizante se produce cuando hay un desplazamiento a lo largo de una o más estructuras rocosas (fallos de corte de plano, paso escalonado, cuña, cuña escalonada o placa); el fallo de

corte rotacional puede producirse en un suelo o en una ladera frágil del estrato rocoso; otros fallos pueden ser el vuelco de bloques formados por estructuras muy inclinadas y desmoronables (p. ej., desalojamiento de bloques por heladas o lluvias). Los principales fallos de ladera pueden tener consecuencias catastróficas, aunque la inestabilidad de la ladera no significa necesariamente un fallo de ladera desde un punto de vista operativo. Para el funcionamiento, la estabilidad de los antepechos suele ser un motivo de preocupación más inmediato, dado que los accidentes pueden producirse de forma súbita con pérdidas de equipos y de vidas humanas.

En las minas subterráneas pueden producirse fenómenos de inestabilidad resultantes de movimientos o hundimientos de bloques a causa de una inestabilidad estructural, de un fallo de la roca cerca de la entrada de la mina por condiciones de alta tensión de la roca o de una combinación de fallos de la roca causados por tensiones, inestabilidad estructural o inestabilidad debida a estalladuras por presión. La estructura de la roca puede influir en la elección del método de minería subterránea y en el diseño de las instalaciones mineras, ya que determina el tamaño de los vanos de excavación estables y los requisitos de capacidad y asentamiento. La roca profunda está sometida a las tensiones resultantes del peso de los estratos superiores y a tensiones de origen tectónico, siendo las horizontales a menudo superiores a las verticales. Hay instrumentos para determinar el nivel de tensión del terreno antes de iniciar la explotación. Cuando se excava la boca de una mina, el campo de tensión alrededor de ésta cambia, superando posiblemente la fuerza del estrato rocoso y dando lugar a una inestabilidad.

Existen varios tipos de fallos en las minas subterráneas de roca dura. Cuando los niveles de tensión son bajos, los fallos son controlados en gran medida por la estructura, apareciendo cuñas o bloques que caen del techo o resbalan de las paredes de las aberturas. Estas cuñas o bloques están formados por la intersección de discontinuidades estructurales. Salvo que se sujeten las cuñas o los bloques sueltos, el fallo puede proseguirse hasta el arqueado natural de la abertura. En depósitos estratificados, la separación y el fallo del lecho puede producirse a lo largo de los planos de estratificación. Cuando los niveles de tensión son altos, los fallos incluyen desde fisuras debidas a la fragilidad y desprendimientos de lajas en estratos rocosos masivos de escasa fisuración hasta un tipo de fallo más dúctil en los estratos rocosos muy fisurados.

Un estallido rocoso debido a la presión se define como un daño que se produce en una excavación de forma imprevista o violenta y que está relacionado con un movimiento sísmico. Se han identificado diferentes tipos de estallido por presión, como la expansión o el pandeo de la roca a causa de una fractura alrededor de la boca de la mina, desprendimientos de rocas provocados por un movimiento sísmico y lanzamiento de rocas a causa de una transferencia de energía desde una fuente sísmica remota. En algunas minas de carbón, sal u otros minerales se producen explosiones de rocas y de gases con consecuencias catastróficas debido a las altas tensiones de las rocas y los grandes volúmenes de metano o de dióxido de carbono comprimidos.

En las canteras y las minas a cielo abierto también se han producido pandeos y proyecciones repentinas de suelos de roca.

En varios países se han estudiado ampliamente las causas y la posible atenuación de los estallidos debidos a la presión. Entre las técnicas actuales para minimizarlas se encuentran el cambio de forma, orientación y secuencia de la extracción, el empleo de una técnica conocida como voladura a baja presión, el relleno de las minas y el uso de sistemas de soporte especializados.

Complejos sistemas de supervisión sísmica a escala local o global de la mina pueden ayudar a identificar y analizar los mecanismos de origen, aunque la predicción de los estallidos debidos a la presión todavía no es fiable.

En la provincia canadiense de Ontario, casi un tercio de los accidentes mortales en minas subterráneas, en el marco de una industria minera altamente mecanizada, está causado por desprendimientos de rocas y estallidos debidos a la presión y su frecuencia durante el período comprendido entre 1986 y 1995 fue de 0,014 en 200.000 horas de trabajo subterráneo. En las industrias mineras subterráneas menos mecanizadas o donde el soporte del terreno no es práctica habitual, esta frecuencia puede ser mucho mayor. El registro de seguridad del control del terreno en las minas a cielo abierto y en las canteras es, por lo general, más completo que en las minas subterráneas.

2.1.5.2. Métodos de diseño

El diseño de las excavaciones subterráneas exige la toma de decisiones de ingeniería en materias como localización, tamaño y forma de las excavaciones y pilares rocosos, secuencia de explotación y aplicación de sistemas de soporte. En las minas a cielo abierto, además de elegir un ángulo de ladera óptimo para cada sección de la mina, hay que tener en cuenta otros aspectos de diseño y soporte de las laderas. El diseño de una mina es un proceso dinámico que se va

actualizando y refinando a medida que se dispone de más información a partir de la observación y la supervisión de los trabajos. Por lo general, los métodos de diseño utilizados son analíticos, de tipo empírico y de observación.

Los **métodos empíricos** suelen basarse en un sistema de clasificación del estrato rocoso (existen numerosos esquemas de este tipo, como el Sistema de estrato rocoso y el Índice de calidad de túneles en roca) junto con recomendaciones de diseño basadas en prácticas aceptadas. En la práctica, se han aplicado con éxito varias técnicas de diseño empírico, como el Método gráfico de estabilidad para el diseño de tajos abiertos.

Los **métodos de observación** se basan en la supervisión de los movimientos del terreno durante la excavación para medir la inestabilidad y en el análisis de la interacción terreno- soporte. Como ejemplos de este tipo de métodos cabe citar el nuevo método austríaco de túneles y el método de convergencia-confinamiento.

Los **métodos analíticos** se basan en el análisis de las tensiones y deformaciones en la proximidad de las bocas. Las primeras técnicas de análisis de tensiones utilizaban soluciones matemáticas cerradas o modelos fotoelásticos, pero su aplicación práctica era limitada debido a la compleja forma tridimensional de la mayoría de las excavaciones subterráneas. Ultimamente se han desarrollado varios métodos numéricos basados en ordenador que permiten obtener soluciones aproximadas para problemas de tensiones, fallas y fallos en la roca alrededor de la bocamina.

Entre los últimos avances se encuentra la utilización de modelos tridimensionales, los modelos con discontinuidades estructurales e interacciones roca-soporte y la disponibilidad de interfaces gráficas orientadas al usuario. A pesar de sus limitaciones, estos modelos numéricos proporcionan una visión realista del complejo comportamiento de las rocas.

Las tres metodologías descritas deben considerarse más como un enfoque unificado de diseño de las excavaciones subterráneas que como técnicas independientes. El ingeniero de diseño debe saber utilizar una serie de herramientas y estar dispuesto a reevaluar la estrategia de diseño siempre que sea necesario, tomando como base la cantidad y la calidad de la información disponible.

2.1.5.3. Controles de perforación y de voladura

Un problema especial de la voladura de rocas es su efecto sobre la roca de las proximidades, ya que puede producir una intensa fragmentación y disrupción de

la integridad de la roca de la zona circundante si la voladura o los sistemas de perforación son incorrectos.

El daño sería mayor si la energía de la voladura se transmitiese a una zona más remota, lo que desestabilizaría las estructuras de la mina.

Los resultados de una voladura dependen de factores como el tipo de roca, el régimen de tensión, la geología estructural y la presencia de agua. Entre las medidas adecuadas para minimizar el daño producido por una voladura se encuentran: una elección adecuada del explosivo, el uso de técnicas de voladura perimétrica, como la voladura de pre-división (barrenos paralelos y muy juntos que definen el perímetro de la excavación), las cargas de desacople (el diámetro del explosivo es menor que el del barreno de voladura), tiempo de retardo y taladros de tope. La forma de los taladros influye en el éxito de una voladura de control de pared, por lo que hay que controlar cuidadosamente su disposición y alineamiento.

En las voladuras se realiza a menudo el seguimiento de las vibraciones para optimizar la disposición de los barrenos y no dañar el estrato rocoso. Hay criterios empíricos para evitar los daños producidos por voladuras. El equipo para el seguimiento de voladuras consta de transductores montados en la superficie o en el barreno, cables conectados a un sistema de amplificación y un grabador digital. El desarrollo de modelos informáticos ha permitido mejorar el diseño de las voladuras y predecir su rendimiento, incluida la fragmentación, el perfil de desescombro y la penetración de grietas causadas por los barrenos de voladura.

Entre los datos de entrada de estos modelos figuran la forma de la excavación y de los barrenos perforados y cargados, las características de detonación de los explosivos y las propiedades dinámicas de la roca.

2.1.5.4. Saneamiento de techo y de las paredes de la excavación

El saneamiento es la eliminación de las placas sueltas de roca en techos y paredes de la excavación. Esta operación puede realizarse manualmente con una barra de acero o aluminio, o con una máquina de saneamiento. En el saneamiento manual, el minero comprueba la solidez de la roca golpeando el techo; un sonido hueco indica, por lo general, que la roca está suelta y debe eliminarse con la barra. El minero debe seguir unas normas estrictas para evitar accidentes durante la operación de saneamiento (p. ej., avanzar desde terrenos sólidos a otros desconocidos, mantener un buen apoyo en los pies, asegurarse una zona libre para retroceder y hacer que la roca golpeada caiga en el lugar

adecuado). El saneamiento manual requiere un esfuerzo físico considerable y puede ser una actividad de alto riesgo. Así, por ejemplo, en Ontario (Canadá) un tercio de los accidentes causados por caídas de roca se producen durante operaciones de saneamiento.

El uso de plataformas sobre brazos extensibles para que mineros montados sobre ellas puedan sanear manualmente paredes altas entraña nuevos riesgos, como el que la plataforma de saneamiento sea golpeada y volcada por las rocas al desprenderse.

En la mayoría de las explotaciones mineras de grandes dimensiones se suelen utilizar equipos de saneamiento mecánico compuestos por un potente fracturador hidráulico, una pala de carga o un martillo de neumático montado sobre un brazo pivotante y, a su vez, sujeto a un chasis móvil.

2.1.5.5. Soporte del terreno

El principal objetivo del soporte del terreno es contribuir a la estabilidad del estrato rocoso. Para reforzar las rocas se instalan pernos de consolidación en su interior, mientras que para el soporte exterior se utilizan piezas de acero o madera. Las técnicas de soporte del terreno no han sido muy utilizadas en la minería de superficie y en la cantería, en parte debido al desconocimiento de la forma real de la mina y en parte por problemas de corrosión.

Para elegir un sistema en concreto hay que tener en cuenta factores como las condiciones del terreno, la vida útil planificada de la excavación, la facilidad de instalación, la disponibilidad y el coste. Actualmente, existen en el mercado una gran variedad de sistemas de pernos de consolidación, algunos de los cuales se describen a continuación.

Los pernos de anclaje mecánico constan de una cubierta de expansión (hay varios diseños según el tipo de roca), pernos de acero (roscado o de cabeza forjada) y chapa frontal. La cubierta de expansión suele estar formada por hojas dentadas de hierro fundido maleable con una cuña cónica roscada en un extremo del perno. Cuando el perno se gira dentro del barreno, el cono se introduce a presión dentro de las hojas y las comprime contra las paredes del barreno. La cubierta de expansión aumenta su agarre a la roca a medida que aumenta la tensión en el perno.

Hay pernos de diferentes longitudes con sus correspondientes accesorios. Los pernos de consolidación de rocas anclados mecánicamente son relativamente económicos y, por tanto, se utilizan mucho en las minas subterráneas para soportes a corto plazo.

La clavija enlechada consta de una barra de refuerzo nervada que se inserta en la perforación y se sujeta a la roca en toda su longitud, lo que refuerza el estrato rocoso de forma prolongada.

Hay diferentes tipos de lechadas de cemento y de resina de poliéster. La lechada puede colocarse en la perforación mediante bombeo o utilizando cartuchos, una operación que resulta rápida y sencilla. Las clavijas son de acero y de fibra de vidrio de diferentes diámetros y los pernos pueden ser tensionados o no tensionados.

El estabilizador por fricción consta normalmente de un tubo de acero abierto en sentido longitudinal que, cuando se introduce en una perforación de tamaño algo menor, presiona y produce una fricción entre el tubo y la roca. Para que este perno sea efectivo debe medirse el diámetro de la perforación con una tolerancia muy reducida.

Los pernos de consolidación de roca Swellex van provistos de un tubo de acero de evolvente circular que se introduce en una perforación y se expande mediante presión hidráulica utilizando una bomba portátil. Hay diferentes tipos y longitudes de tubos Swellex.

El perno de cable enlechado suele instalarse para controlar los hundimientos y estabilizar los techos y paredes en los tajos subterráneos. Se utiliza una lechada de cemento Portland, aunque las formas del cable y los métodos de instalación pueden variar. También se emplean en las minas barras de refuerzo y anclajes de roca de gran capacidad junto con otros tipos de pernos, como los tubulares enlechables de anclaje mecánico.

Los flejes o mallas de acero fabricados con alambre tejido o soldado se instalan a menudo en techos o paredes de la boca de la mina para soportar la roca entre los pernos.

Las explotaciones mineras deben disponer de un programa de control de calidad con variadas pruebas de campo que garanticen que el aguante del terreno es efectivo. Un aguante deficiente en las instalaciones puede deberse a un diseño inadecuado (incorrecta elección del tipo de soporte del terreno, de la longitud o la disposición de las condiciones del terreno), a materiales de aguante del terreno de calidad inferior a la estándar (por envío incorrecto del fabricante, por daños durante su manejo o por las condiciones de almacenamiento en la mina), a deficiencias de instalación (equipo defectuoso, planificación incorrecta de la instalación, preparación inadecuada de la superficie rocosa, formación deficiente del personal o incumplimiento de los procedimientos especificados), a efectos

resultantes de los trabajos de minería no previstos en la fase de diseño (variaciones de tensión, fracturas o fisuras causadas por tensiones o voladuras, aflojamiento de las grietas o estallido debido a la presión) o a cambios en el diseño de la mina (cambios en la forma de excavación o prolongación de la vida útil prevista de la mina).

El comportamiento de los lechos rocosos reforzados o soportados todavía no está bien estudiado. Aunque se han establecido algunos principios básicos, directrices empíricas de diseño basadas en sistemas de clasificación de lechos rocosos y programas informáticos, el éxito de un determinado diseño depende en gran medida del conocimiento y la experiencia del técnico que controla el terreno. Un estrato rocoso de buena calidad con pocas discontinuidades estructurales y aberturas pequeñas, y con una vida de servicio limitada, puede no requerir prácticamente ningún soporte, aunque deben instalarse pernos para consolidación de rocas en determinados puntos para estabilizar los bloques que se identifiquen como potencialmente inestables. En muchas minas es obligatorio instalar en todas las excavaciones anclajes patrón o pernos de consolidación de rocas dispuestos de forma regular para estabilizar techos o paredes.

En cualquier caso, los mineros y los supervisores deben tener suficiente experiencia para reconocer las zonas en que pueda ser necesario instalar un soporte adicional.

La forma más antigua y sencilla de soporte es el entibado mediante vigas de madera, que todavía se instalan cuando se trabaja en terreno inestable. Los arcos y puntales de acero son elementos con una gran capacidad de aguante de carga y se utilizan para entibar galerías y vías. En las minas subterráneas, se utiliza como material de entibado adicional el relleno, que puede ser de roca residual, arena o relaves junto con un agente de cementación. El relleno cubre los vacíos creados en las excavaciones subterráneas y sirve, entre muchas otras cosas, para evitar fallos a gran escala, para encerrar y por tanto proporcionar fuerza adicional a los pilares de roca, para permitir la transferencia de tensiones de la roca, para reducir el asentamiento superficial, para obtener una recuperación máxima del mineral y para proporcionar una plataforma de trabajo en algunos métodos de minería.

Una innovación relativamente reciente en muchas minas ha sido el uso del *hormigón vaporizado* en un frente de roca que puede aplicarse directamente a ésta sin necesidad de ninguna otra forma de soporte o que puede vaporizarse a través de mallas y pernos de consolidación de rocas formando parte de un

sistema de soporte integrado. A este tipo de hormigón se le pueden añadir fibras de acero junto con otras mezclas para conferirle propiedades específicas. Los dos procesos actuales de utilización del hormigón vaporizado son con mezcla seca y con mezcla húmeda. El hormigón vaporizado se ha aplicado para distintos fines en las minas, como, por ejemplo, para estabilizar frentes de roca que de otra forma se desmoronarían por su estrecha fisuración.

En las minas a cielo abierto también se ha utilizado el hormigón vaporizado con éxito para estabilizar fallos de desmoronamiento progresivo. Otra de las últimas novedades es el uso de recubrimientos de poliuretano vaporizado en las minas subterráneas.

Para que los sistemas de entibado reaccionen de forma efectiva en caso de estallido debido a la presión, es necesario que tengan determinadas propiedades, como capacidad de deformación y de absorción de energía. Actualmente, se está estudiando en diferentes países el tema de la elección de soportes resistentes a las estallidos debidos a la presión y existen ya nuevas recomendaciones de diseño al respecto.

En las aberturas subterráneas pequeñas la instalación del entibado manual del terreno suele realizarse con una perforadora.

En excavaciones de mayor tamaño se utilizan equipos semi-mecanizados (equipos de perforación mecanizados y equipo manual para la instalación de los pernos de consolidación), así como equipos totalmente mecanizados (perforación mecanizada e instalación de pernos de consolidación controlada desde un panel de operación situado bajo un techo soportado con pernos).

La instalación manual del soporte del terreno es una actividad de alto riesgo. Así, en Ontario (Canadá), un tercio de los accidentes causados por caída de rocas durante el período de 1986- 1995 y el 8 % de los accidentes en minas subterráneas se produjeron durante la instalación de pernos de consolidación.

Otros posibles peligros son las salpicaduras de lechada de cemento o de resina en los ojos, las reacciones alérgicas producidas por derrames de productos químicos y la fatiga. Cuando se utilizan equipos mecanizados resulta más segura y eficiente la instalación de grandes cantidades de pernos de consolidación.

2.1.5.6. Supervisión de las condiciones del terreno

La supervisión de las condiciones del terreno en la mina puede realizarse por diversas razones, entre las que se encuentran:

Obtener los datos necesarios (deformabilidad del estrato rocoso, tensiones de la roca, etc.) para diseñar la mina; comprobar los datos y los supuestos del diseño mediante el calibrado de modelos informáticos y el ajuste de los métodos de minería para mejorar la estabilidad; estudiar la efectividad del entibado del terreno existente y, tal vez, decidir la instalación de entibados adicionales; o detectar a tiempo fallos potenciales del terreno.

La supervisión de las condiciones del terreno puede hacerse visualmente o con la ayuda de instrumentos especializados. La inspección de la superficie y del subsuelo debe ser cuidadosa, utilizando en caso necesario focos de luz de alta intensidad; tanto los mineros como los supervisores, los técnicos y los geólogos tienen un importante papel que desempeñar en la realización periódica de las inspecciones. Entre las señales visuales o audibles de cambio en las condiciones del terreno se encuentran, entre otras, el estado del núcleo del trépano de diamantes, contactos entre tipos de rocas, terreno con sonido hueco, presencia de características estructurales, carga obvia de entibado del terreno, pandeo del suelo, nuevas fisuras en paredes o techos, aguas subterráneas y fallos de los pilares.

Los mineros a menudo utilizan instrumentos sencillos (p. ej., cuñas de madera en una grieta) para detectar movimientos del techo.

La planificación y la implantación de un sistema de supervisión incluye la definición del objetivo del programa y de las variables a supervisar, la determinación de la precisión necesaria en las medidas, la selección e instalación del equipo, así como la definición de la frecuencia de observación y la forma de presentación de los datos. El equipo de supervisión debe ser instalado por personal experimentado. Son aspectos importantes del mismo un fácil manejo de los instrumentos, la redundancia y la fiabilidad. El diseñador debe definir las posibles amenazas para la seguridad o la estabilidad e incluir la elaboración de planes de emergencia en caso de que se superen determinados niveles de señal.

Un sistema de supervisión consta de un sensor que registra los cambios de la variable supervisada, un sistema de transmisión constituido por indicadores, cables eléctricos y líneas hidráulicas o radiotelemétricas para enviar la señal del sensor al punto de lectura, una unidad de lectura (p. ej., dial, calibrador de presión, multímetro o pantalla digital), así como una unidad de registro/procesamiento (p. ej., grabador de cinta, registrador de datos o microordenador). El modo de funcionamiento de un instrumento puede ser:

mecánico: suelen ser los instrumentos más sencillos, baratos y fiables en cuanto a detección, transmisión y lectura. Los detectores mecánicos utilizan una varilla o cinta de acero que por un extremo está fijada a la roca y por el otro está en contacto con un indicador graduado o un sistema eléctrico. El principal inconveniente de los sistemas mecánicos es que no permiten una lectura remota o una grabación continua;

óptico: se utilizan en métodos de supervisión convencionales, precisos y fotogramétricos para establecer los perfiles de excavación, medir movimientos de límites de excavación y supervisar el asentamiento superficial;

hidráulico y neumático: los transductores de diafragma se emplean para medir las presiones de agua, las cargas de soporte, etc. La cantidad medida es una presión de fluido que actúa en un extremo de un diafragma flexible de metal, goma o plástico;

eléctrico: es el modo de funcionamiento más común en los instrumentos de minería, aunque los sistemas mecánicos todavía se utilizan mucho en la supervisión de fallas.

Los sistemas eléctricos están provistos de un indicador de variación de la resistencia eléctrica, un cable vibratorio o una autoinducción.

Entre las variables más supervisadas en las minas se encuentran el movimiento (mediante métodos de supervisión, mecanismos de superficie como indicadores de grietas y extensómetros de cinta, mecanismos de voladura como extensómetros de varilla o inclinómetros), las tensiones de la roca (tensión absoluta o cambio de tensión en dispositivos de barreno), la presión, la carga y la deformación de los sistemas de soporte del terreno (p. ej., celdas de carga), así como los seísmos y las vibraciones por voladura.

2.2. MARCO NORMATIVO

Las leyes en el Perú siguen los criterios de organismos internacionales.

La normativa a continuación descrita es representativa para la fecha en la cual se publica la presente tesis y hasta este momento, se ha dejado un vacío en la toma de muestras que puedan generar una valoración de la exposición del ruido mucho más representativa.

2.2.1. CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL PERÚ (1993)

La mayor norma legal en el país es la Constitución Política del Perú, que resalta entre los derechos esenciales de la persona humana, el derecho a la protección de la salud de las personas y de sus comunidad.

Señala también (artículo 9º), la responsabilidad del estado para determinar la política nacional de salud, normando y supervisando su aplicación.

Además, establece en el artículo 23º, que el trabajo es objeto de atención prioritaria para el estado.

Al ser el derecho a la salud un derecho constitucional; no es legalmente permitido que el desempeño del trabajo genere un perjuicio o un riesgo a la salud del trabajador.

2.2.2. LEY N° 29783

La ley N° 29783, Ley de Seguridad y salud en el Trabajo expresa:

Artículo 56. Exposición en zonas de riesgo:

El empleador prevé que la exposición a los agentes físicos, químicos, biológicos, ergonómicos y psicosociales concurrentes en el centro de trabajo no generen daños en la salud de los trabajadores.

Esta ley es la ordenadora del marco normativo legal para la gestión de la seguridad y salud en el trabajo en el Perú. Establece en el Principio de Prevención, que el empleador garantiza, en el centro de trabajo, el establecimiento de los medio y condiciones que protejan la vida, la salud y el bienestar de los trabajadores y en su principio de Protección, el derecho de trabajadores que el estado y los empleadores aseguren condiciones de trabajo dignas que les garanticen un estado de vida saludable, física, mental y socialmente, en forma continua. Mientras que en el artículo 56º establece la responsabilidad del empleador en prever que la exposición a los agentes físico, químicos, biológicos, ergonómicos y psicosociales concurrentes en el centro de trabajo no generen daños en la salud de los trabajadores. En los artículos (59º y 60º) de la misma Ley, se establece la necesidad de la adopción de medidas de prevención y la dotación de los equipos para la protección personal por parte del empleador.

2.2.3. D.S. N° 005-2012-TR

El D.S.005-2012-TR, Reglamento de la Ley N° 29783 ley de Seguridad y Salud en el Trabajo expresa:

Artículo 33. Los registros obligatorios del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo son:...

Registro del monitoreo de agentes físicos, químicos, biológicos, psicosociales y factores de riesgo disergonómicos.

...

Además clasifica los niveles de ruido por encima del límite permisible como un incidente de trabajo.

Mediante este Decreto Supremo, en su artículo 33°, se establece claramente que entre los registros obligatorios del sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, se encuentran los registros del monitoreo de agentes físicos, químicos, biológicos, psicosociales y factores de riesgo músculo-esquelético.

2.2.4. R.M. N° 375-2008-TR

La R.M. N° 375-2008-TR, Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación del riesgo disergonómico expresa:

Esta norma técnica, aunque con muchas deficiencias, coloca algunas bases para la valoración cuantitativa del riesgo ruido.

23. En cuanto a los trabajos o las tareas, debe tomarse en cuenta que el tiempo de exposición al ruido industrial observará de forma obligatoria el siguiente criterio:

24. La dosis de ruido se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

$$D=C1/T1+C2/T2+C3/T3+...Cn/Tn$$

Siendo:

Cn= Nro. de horas de exposición al nivel equivalente i

Tn=Nro. de horas permisibles al nivel equivalente i

L=Nivel equivalente de ruido

25. en los lugares de trabajo, donde se ejecutan actividades que requieren una atención constante y alta exigencia intelectual, tales como: centro de control, laboratorios, oficinas, salas de reuniones, análisis de proyectos, entre otros, el ruido equivalente deberá ser menor a 65dB.

Mediante esta resolución ministerial se dan los lineamientos básicos por la que toda empresa, del rubro minero o no; debe de evaluar la exposición a agentes de riesgo.

2.2.5. D.S. N° 055-2010-EM

REGLAMENTO DE SEGURIDAD E HIGIENE MINERA

Este reglamento, específico de la industria minera en nuestro país, establece lineamientos detallados sobre la evaluación de exposición y nombra por primera vez la importancia de clasificar en grupos de exposición similar.

El monitoreo de agentes ocupacionales, que incluyen al ruido, se incluye en el capítulo VIII Identificación de Peligros, Evaluación y Control de Riesgos (IPERC)

sub capítulo II Agentes físicos; Artículo 95 como versa: “todo titular minero deberá monitorear los agentes físicos presentes en la operación minera tales como: ruido, temperaturas extremas, vibraciones, iluminación y radiaciones ionizantes y otros.”

Además:

Art. 96.- se proporcionará protección auditiva cuando el nivel de ruido o el tiempo de exposición supere los valores de Nivel de Ruido establecidos en el ANEXO 7-E. A partir de los 100 dB se debe utilizar doble protección auditiva mientras se implementa las medidas de control necesarias.

No debe exponerse al personal a ruido continuo, intermitente o de impacto por encima de un nivel de 140dB en escala de ponderación C. Para la medición de ruido se utilizará la guía Nro. 1.

Entre otros controles esta ley propone que los ventiladores principales cuenten con silenciadores.

Según el reglamento minero, en su guía Nro. 1 para la medición del ruido se propone que la toma de muestras (determinaciones) que se hagan con dosímetros o sonómetros se realicen así:

El dosímetro de ruido, el cual mide la exposición personal a ruido y es el instrumento que se recomienda para determinar si se excede con el límite. Este equipo consiste de un micrófono (colocado en la zona de audición del trabajador) conectado al aparato microprocesador/controlador. El dosímetro continuamente monitorea, integra y registra la energía sonora a la que un trabajador está expuesto a lo largo de la jornada. El equipo usa esta información para calcular una dosis de ruido en la jornada.

La mayoría de los dosímetros también guardan registro del nivel más alto de ruido sucedido en cualquier momento; de tal manera que se puede verificar que no haya pasado los 115 dBA (el máximo valor permitido de ruido, sin importar el tiempo de exposición). La mayoría de dosímetros también puede ser usados como sonómetros, registrando y entregando los mismos parámetros.

El segundo instrumento, el sonómetro (o Sound Level Meter SLM de sus siglas en inglés), contiene un micrófono, un amplificador, redes de ponderación de frecuencias y algún tipo de indicador de medición. El sonómetro indica el nivel de presión sonora en decibeles (dB).

Las lecturas con el sonómetro pueden ser usadas para identificar las fuentes de exposición a ruido de los trabajadores o para hacer estudios de ruido en el lugar de trabajo.

Evaluar la exposición a ruido requiere integrar todos los niveles de ruido sobre un rango de tiempo apropiado para determinar una dosis de ruido del trabajador. Los dosímetros personales de ruido realizan esta integración de manera automática pero, en muchos casos, un evaluador que use un sonómetro tendrá que hacerlo de manera manual (ver el Paso 6 – Calculando la dosis de ruido del trabajador.)

Para poder comparar el resultado de la integración de valores con el límite permisible se deberá integrar valores, como mínimo, desde 80 hasta 140dBA.

Paso 1: Establecer un sistema de monitoreo

En vez de muestrear cada trabajador individualmente, se podría tomar muestras de ruido en ciertas áreas de trabajo o muestrear un número suficiente de trabajadores que realizan tareas representativas. Basándose en la información de esas muestras de ruido, el higienista podría determinar si se requiere más muestras de ruido en las áreas o un mayor número de trabajadores muestreados usando las estadísticas.

Las estadísticas deben ayudar a determinar con un nivel de confianza si la exposición de los trabajadores supera o no el límite máximo permisible para el tiempo de exposición.

Paso 2: Informar a los Trabajadores

El titular minero deberá proveer a los trabajadores afectados o a sus representantes la oportunidad de observar el monitoreo de exposición a ruido. Esto incluye darles a conocer a los trabajadores el programa de monitoreo o que se está tomando muestras de ruido, para asegurarle al trabajador que las mediciones se den condiciones normales de trabajo y que se están haciendo de manera apropiada. El trabajador deberá participar en el monitoreo de ruido.

El titular minero deberá también informar a los trabajadores:

- Si la exposición a ruido de su puesto de trabajo supera el límite máximo permisible y cómo usar el equipo de protección auditiva; y*
- Acerca de las medidas correctivas que se va a tomar para aquellos casos que superen el límite máximo permisible.*

Paso 3: Calibrar el Equipo

Antes y después de cada muestra de ruido, se deberá verificar la calibración del equipo de muestreo con un calibrador acústico. Los calibradores deberán ser adecuados para el diámetro y forma del micrófono. Verificar la calibración colocando el micrófono en la abertura del calibrador (a veces necesita de un adaptador) el cual produce un tono puro a un nivel de sonido dado (usualmente

114 dBA). Al usar dosímetro podría ser necesario setearlo con funciones de sonómetro (por ejemplo Nivel Equivalente, Nivel pico, etc.) Tanto el sonómetro como el dosímetro deberán leer la intensidad de sonido emitida por el calibrador con una variación máxima de ± 1 dB. Si no es así, el instrumento deberá ser recalibrado de acuerdo a las recomendaciones del fabricante antes de usarlo. No se debe usar el instrumento para hacer evaluaciones de ruido hasta que sea recalibrado. Nota: Adicionalmente a chequear la calibración de los instrumentos antes y después de cada muestreo de ruido, se deberá calibrar los sonómetros, dosímetros y calibradores acústicos por lo menos una vez al año.

Paso 4: Tomar muestras de ruido con un dosímetro (Ver el paso 5 si se está usando un sonómetro) Para este paso, ya se deberá haber evaluado las áreas de trabajo, se habrá determinado qué grupos de trabajadores necesitan ser muestreados en su exposición a ruido, y determinado cuántas muestras se necesita. Se deberá explicar al trabajador que va a usar el dosímetro cuál es el propósito y el procedimiento para el muestreo o monitoreo:

1. Encienda el equipo.
2. Verifique que la batería del equipo tiene suficiente carga.
3. Asegúrese que el equipo está programado con la escala "A", respuesta lenta "slow" y que la tasa de cambio es 3 dB.
4. Verifique la calibración del equipo y resetee el dosímetro de cualquier otra medición anterior antes de tomar una nueva muestra. Registre por escrito el número del dosímetro y los resultados de la calibración.
5. Enfaticé al trabajador la importancia de trabajar de manera habitual, haga notar que el dosímetro no debe interferir con las labores normales.
6. Desanime al trabajador para que no silbe, grite ni tape el micrófono.
7. Instruya al trabajador para que:
 - No se quite el dosímetro a menos que sea absolutamente necesario;
 - No golpee, deje caer, o dañe de alguna otra manera al dosímetro; y
 - Mantenga el micrófono descubierto, pero la pantalla cortavientos sobre el micrófono;
8. Mencione al trabajador que usted regresará periódicamente para tomar valores del equipo y para chequear el micrófono, e infórmele cuándo y dónde desinstalará el dosímetro.

9. Coloque el micrófono sobre el hombro, a mitad de distancia del cuello y del borde del hombro, apuntando hacia arriba. (Para situaciones donde el trabajador está posicionado de tal manera que toda la exposición provenga primordialmente de una dirección, el micrófono deberá ser colocado en el hombro más cercano a la fuente de ruido.)

10. Encienda el dosímetro y registre la hora de inicio.

11. Verifique la posición del micrófono periódicamente a lo largo de la jornada.

12. Siempre que sea práctico, coloque el aparato y el cable del micrófono por debajo de la ropa externa.

13. Se recomienda las mediciones de jornada completa o, como mínimo, del 70% del tiempo total de la jornada. Sin embargo, para poder dar por válida una medición de entre 70% a menos del 100% de la jornada se deberá garantizar que los valores medidos entre ese periodo son representativos de las actividades realizadas en el total de la jornada y que no se está obviando actividades ruidosas.

Durante el periodo de muestreo, registre por escrito toda la información pertinente.

14. Al final del periodo de muestreo tome y registre los valores finales.

15. Apague el dosímetro, registre la hora, y remueva el equipo del trabajador.

16. De ser posible, explique los resultados al trabajador. Se recomienda entregar cartillas, hojas informativas o folletos acerca de ruido, muestreo de ruido y control de ruido.

17. Re-verifique la calibración del dosímetro. Si el dosímetro no indica el valor del calibrador ± 1 dB, entonces la medición será considerada inválida.

Paso 5: Tomar muestras de ruido con un sonómetro

Como se mencionó al principio, la mayoría de los dosímetros pueden ser adaptados para ser usados como sonómetros. Asimismo, hay muchos equipos que trabajan sólo como sonómetros. Revise el manual de instrucciones del fabricante de su equipo para mayor información. Cuando un dosímetro es usado como sonómetro, seleccione la función de "sonómetro", luego siga las instrucciones generales que se indican más abajo.

1. Programe el sonómetro en la ponderación "A", respuesta lenta "slow" y tasa de cambio de 3 dB para todas las mediciones.

2. Verifique la calibración de acuerdo a las instrucciones del fabricante y registre por escrito los resultados.

3. En general, mantenga el micrófono a un brazo de distancia, manteniendo su cuerpo fuera del paso del ruido. que sea posible, mantenga el micrófono a una distancia de 30cm del oído más expuesto del trabajador.

Según lo especifique el fabricante, mantenga el micrófono ya sea de manera perpendicular a la fuente de ruido o apuntando hacia la fuente.

4. Debido a que las lecturas del sonómetro podrían fluctuar, observe los valores por 30 segundos. Ignore cualquier nivel alto o bajo momentáneo que podría ocurrir.

5. Tome varias muestras para cada actividad que el trabajador realice durante su día de trabajo. Su meta es encontrar los niveles sonoros más altos de cada actividad del trabajo.

6. Registre las lecturas de los niveles sonoros o el rango en el que éstos se encuentran. También registre la hora, lugar, actividad específica del trabajador, equipo que se está usando, si hay ventanas y puertas abiertas (si aplica) y cualquier otra información pertinente. Deberá registrarse también el tiempo que el trabajador está expuesto a un nivel sonoro determinado. Esta información es necesaria para

<i>Escala de ponderación "A"</i>	<i>Tiempo de Exposición Máximo en una jornada laboral</i>
82dB	16 horas/día
83dB	12 horas/día
85dB	8 horas/día
88dB	4 horas/día
91dB	1,5 horas/día
94dB	1 hora/día
97dB	30 min/día
100dB	15 min/día

Tabla 1 - Anexo 7-E "Nivel de Ruido", fuente MSHA

calcular la dosis.

7. Para una identificación futura podría ser útil hacer un boceto o gráfico que indique dónde fue que se tomó cada lectura.

8. De ser posible, explique los resultados (parciales) al trabajador. Se recomienda entregar cartillas, hojas informativas o folletos acerca de ruido, muestreo de ruido y control de ruido.

9. Re- verifique la calibración. Si el sonómetro no indica el valor del calibrador ± 1 dB, entonces las mediciones será consideradas inválidas.

Paso 6: Calcular la exposición de los trabajadores

Existen tres formas en que un equipo podría entregar los datos:

1. *Dosis de Ruido:* Se evaluará si para la jornada diaria la dosis supera el 100%. De ser el caso, se dirá que la exposición ha superado el límite permisible. Por ejemplo: dosis de 90%, 87%, 88.5% indican que la exposición no supera el límite máximo permisible; dosis de 105%, 110%, 108,5% indican que sí se ha superado el límite máximo permisible.

2. *Nivel equivalente de Ruido:* Podrá ser comparado directamente con los valores del "Anexo 7-E "Nivel de Ruido", fuente MSHA", de acuerdo al tiempo que dura la jornada del trabajador y cumpliendo con los requisitos de la medición.

3. *Niveles Equivalentes por periodos:* Son los obtenidos con las mediciones con sonómetro. Para poder comparar con los límites permisibles se deberá calcular la dosis, según el método descrito a continuación.

Cuando se use un sonómetro, se deberá calcular la dosis usando la siguiente fórmula:

$$Dosis = 100 \left[\frac{C1}{T1} + \frac{C2}{T2} + \dots + \frac{Cn}{Tn} \right]$$

Donde:

C: El tiempo que un trabajador está expuesto a cada nivel sonoro

T: El tiempo de exposición permitido tomado de la TABLA N ° 1

Paso 7: Evaluar los resultados

1. Para valores de exposición mayor a 82 dBA en 8 horas (y/o dosis mayores a 50%), se recomienda que el trabajador o puesto de trabajo sean incluidos en las actividades de capacitación para prevención de pérdida auditiva.

2. Para valores de exposición mayores a 85 dBA en 8 horas (y/o de dosis mayores a 100%), es necesario que se empiece a implementar medidas correctivas para disminuir la exposición. Mientras se implementa medidas

correctivas más eficaces se deberá usar equipo de protección auditiva como medida de control temporal.

3. Para valores de exposición mayores a 100 dBA y menores a 105 dBA es obligatorio el uso de doble protección auditiva como medida de control temporal mientras se implementa medidas correctivas más eficaces.

4. Ninguna persona deberá exponerse a más de 105 dBA, sin importar el tiempo de exposición.

TABLA Nro. 2: CÁLCULOS

Para calcular valores intermedios de la tabla 1 se puede usar la siguiente fórmula:

$$T = \frac{8}{2^{(L-85)/3}}$$

Donde:

T: Es el tiempo de exposición máximo para el nivel de ruido "L".

L: Es el nivel de ruido en decibeles en la escala de ponderación "A" (dBA) para el cual se quiere saber cuál es su tiempo de exposición máximo.

Para calcular la dosis de ruido teniendo un nivel equivalente "L" en T horas en dBA:

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

Donde:

T: Es el tiempo que el trabajador estuvo expuesto al nivel equivalente L.

L: Es el nivel equivalente de ruido en decibeles en la escala de ponderación "A" (dBA), obtenido luego de medir durante el tiempo "T" en horas. Se desea saber la dosis de ruido durante este tiempo "T".

Para hallar el nivel equivalente resultante de varias mediciones de tiempos conocidos se deberá usar la siguiente fórmula:

$$Leq = 10 \log \left[\frac{t_1 \times 10^{L_1/10} + t_2 \times 10^{L_2/10} + \dots + t_n \times 10^{L_n/10}}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \right]$$

Donde:

t1: Es el tiempo que duró el evento L1.

L1: Nivel de ruido equivalente continuo (dBA) medido para el tiempo t1.

2.2.6. R.M. N° 312-2011

La R.M. N°312.2011, Protocolos de exámenes médicos ocupacionales expres: Según la resolución ministerial 312 del Ministerio de Salud del 2011, la hipoacusia inducida por ruido se considera una enfermedad relacionada al trabajo. Por ello, todos los trabajos por encima de 80 decibeles durante 8 horas diarias, 40 horas semanales, incluyendo todo el sector de la industria y del sector textil, debe realizar otoscopías, acuametrías y audiometrías a su personal expuesto

La otoscopía es la inspección de la membrana timpánica y el conducto auditivo externo en busca de anomalías.

La acuametría es el método para diagnóstico cualitativo de la pérdida auditiva.

La audiometría es el método para diagnóstico cualitativo de las alteraciones de la audición

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DEL OIDO

La audición es un sentido humano crítico. La audición facilita la comunicación entre nosotros y el medio ambiente. El sonido agrega una riqueza a la vida, sean estas sutilezas del lenguaje y humor, las emociones originadas por la música o la conexión que sentimos a nuestro alrededor.

El oído consta de estructuras internas, medias y externas.

2.3.1.1. Oído externo

En una primera etapa el sonido y las vibraciones llegan a nuestros oídos (oído externo constituido por pabellón de la oreja) para ser conducidos hacia el canal auditivo, llegando de esta manera al tímpano y haciéndolo vibrar.

La porción cartilaginosa, visible del oído ayuda a recolectar las ondas de sonido. El hecho de tener dos oídos permite la localización del sonido porque las ondas de sonido llegan a cada oído en momentos levemente distintos. Además de los beneficios auditivos, el pabellón es naturalmente el único en cada individuo.

El pasaje que canaliza las ondas de sonido del pabellón al tímpano se llama conducto auditivo externo; el cual es una canal de 24 mm de largo, de forma sinusoidal y con propiedades resonantes que amplifican los sonidos entre 2000 y 5000 Hz. La mitad externa de la pared del conducto consiste en el cartílago y la mitad interna de hueso. El conducto está revestido de piel que tiene glándulas modificadas de sudor que producen cerumen, o cera de oídos y vellos finos; los cuales protegen al tímpano.

El tímpano sella el tubo del conducto auditivo, capta las vibraciones de sonido y las traspassa a la cadena osicular del oído medio por medio de una conexión en el umbo de la membrana timpánica. Consiste en tres capas de tejido semi-transparente, similar a la piel, que crece continuamente.

2.3.1.2. Oído medio

La parte central del tímpano está conectada a un hueso muy pequeño llamado martillo. Esta zona es llamada oído medio y en ésta, los huesillos martillo, yunque y estribo transmiten y amplifican las vibraciones hacia la ventana oval del oído interno.

Ésta es una cavidad llena de aire entre la membrana timpánica y la cápsula ósea del oído interno. Contiene la cadena osicular y músculos, así como la apertura de la trompa de Eustaquio. El oído medio transmite y amplifica la vibración mecánica del oído externo al oído interno.

Los tres huesos más pequeños del cuerpo humano, el martillo, yunque y estribo, se conectan para formar la cadena osicular que queda suspendida en el espacio del oído medio, asegurada por ligamento y músculos. La cabeza del martillo se adjunta a la membrana timpánica en el umbo en un extremo de la cadena osicular. La placa de pie del estribo se apoya en la ventana oval de la cóclea en el oído interno al otro extremo. Este delicado sistema tiene un propósito único que es superar el desajuste de impedancia entre el aire en el espacio del oído medio y el líquido en el oído interno. La orientación e la cadena osicular en combinación con la diferencia en el área de superficie entre la membrana timpánica y la placa de pie del estribo produce una amplificación natural; relación de 15:1 en que la vibración del sonido se amplifica cuando pasa del oído externo, a través del oído medio, al oído interno. Esto se relaciona específicamente con nuestra capacidad para oír sonidos extremadamente débiles.

Los músculos ubicados en la cavidad del oído medio son el tensor del tímpano y el estapedio. El tendón del músculo tensor del tímpano se adjunta al mango del martillo y el músculo estapedio se adjunta al cuello del estribo.

La contracción de estos músculos hace que el martillo se tire hacia dentro y el estribo se tire afuera de la ventana oval, temporalmente cambiando las características vibratorias de la cadena osicular y potencialmente proporcionando un mecanismo de protección contra sonido fuertes. El reflejo acústico oauricular se refiere a la contracción inmediata de estos músculos en respuesta a un sonido fuerte. El reflejo no ocurre lo suficientemente rápido para

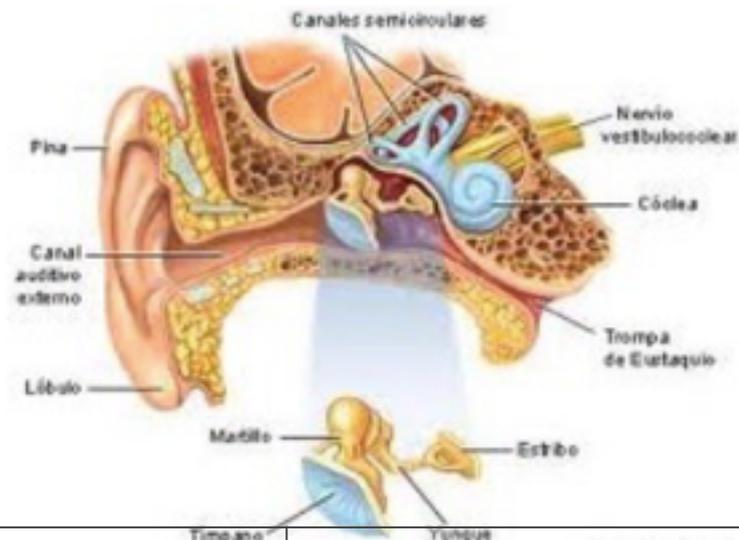
agregar protección significativa de un impulso repentino de sonido, tal como el disparo de un arma de fuego, pero puede reducir la estimulación vibratoria para el sonido sostenido. Tiene la tendencia de estar presente y ser más efectivo en los oídos jóvenes que en los viejos.

La trompa de Eustaquio es un tubo abierto que pasa hacia abajo y adentro desde el espacio del oído medio a la naso-faringe. La trompa de Eustaquio es de unos 45mm de largo. Su principal función consiste en igualar las diferencias de presión entre los espacios del oído externo y el oído medio.

2.3.1.3. Oído interno

El oído interno es el área donde los movimientos provocados por el martillo, yunque y estribo sobre la ventana oval se transmiten hacia la cóclea. La cóclea es una estructura en forma enrollada; llena de fluido y en la cual se encuentra un órgano espiralado llamado Corti, el órgano receptor de la audición.

El Corti consiste en pequeños cilios que traducen la vibración del fluido en impulsos eléctricos que llegan al cerebro a través de nervios sensorios. Mientras más cerca se encuentran a la ventana oval, estos cilios traducirán sonidos de mayor frecuencia.



Frecuencias	Tipo de onda sonora
< 20 hz	Infrasonido
20 hz a 20 kHz	Espectro de sonido audible
20 kHz a 10 GHz	Ultrasonidos
>10 GHz	Hipersonidos

Tabla 2 - Frecuencia y tipo de onda

Frecuencias	Longitud de onda
20 kHz	17 mm
1MHz	0,3 mm
1GHz	0,3 mm

Tabla 3 - Frecuencia y longitud de onda

Figura 8: Sistema auditivo. Fuente: U.S. National Library of Medicine

2.3.2. CAMPOS DE AUDICIÓN

2.3.2.1. Infrasonidos

Llamados subsónicos, cuando su frecuencia es inferior a 20Hz, no producen sensación sonora en el hombre.

Debido a su baja frecuencia, estos pueden tener largas longitudes de onda, pueden viajar largas distancias y pasar por obstáculos con poca disipación. Las ondas de ruido infrasónicas existen naturalmente en la forma de temblores, tormentas eléctricas y actividad volcánica.

Los infrasonidos pueden ser generados por equipos industriales, tales como transformadores, algunos compresores, o dentro de salas de máquinas. El infrasonido no es dañino a la audición humana, una exposición excesiva y prolongada puede producir malestares físicos, dolores de cabeza e incluso náuseas.

2.3.2.2. Sonidos

Cuando sus frecuencias se encuentran entre 20Hz y 20 000 Hz, producen sensación auditiva en el hombre.

2.3.2.3. Ultrasonidos

Cuando sus frecuencias son superiores a 20 000 Hz, no producen sensación auditiva.

Durante la Segunda Guerra Mundial los ultrasonidos fueron muy utilizados como detectores de submarinos. Posteriormente, el fuerte desarrollo de la industria de materiales sintéticos encontró en la soldadura por ultrasonidos una aplicación que favorecería la utilización de éstos en gran escala.

Consideraciones físicas:

El ultrasonido, al igual que el sonido, se genera por la perturbación periódica generada en un medio elástico. La diferencia fundamental la encontramos en la frecuencia a que éstos se producen.

Habitualmente encontramos una división de las ondas sonoras en base a la variación de frecuencia, como la siguiente:

Dado que la velocidad de propagación del sonido en el aire es de 340 m/s, y teniendo en cuenta la expresión de la longitud de onda:

$$A = \frac{\text{Velocidad de propagación } \left(\frac{m}{s}\right)}{\text{Frecuencia (Hz)}}$$

Obtenemos que en la zona de ultrasonidos las ondas pueden considerarse cortas

Los ultrasonidos pueden también considerarse como ondas de gran directividad y propagación recta.

Efectos de los ultrasonidos:

Hemos de señalar la incidencia de los ultrasonidos en el desgarramiento de moléculas y membranas, así como el aumento de la temperatura de éstas.

Los ultrasonidos afectan al oído generando aumentos temporales de ITS cuando se alcanzan niveles de 150dB. Pueden aparecer dolores de cabeza, mareos, náuseas y vómitos.

Ultrasonidos de frecuencia de 200 kHz producen la sensación semejante de los sonidos audibles transmitidos por vía ósea.

En general, se produce lesión del sistema nervioso periférico y del sistema vascular.

La sintomatología es de dolor de cabeza, propensión a la fatiga, presión de oídos, vértigo y malestar general. Pueden presentarse además anomalías del sueño, irritabilidad y aumento de los umbrales de percepción acústica, vestibular, visual y del dolor.

2.3.3. DAÑOS AUDITIVOS POR CAUSAS LABORALES

Ninguno de los distintos agentes de riesgo para la salud que concurren en las instalaciones industriales lo hacen tan reiteradamente como el ruido.

El ruido comporta, y las estadísticas corroboran esta afirmación, un riesgo permanente para la salud de los trabajadores. En la extensión e importancia de este riesgo inciden, entre otras, el incremento energético incorporado a las

instalaciones de producción, la potencia de las máquinas y sus cada vez mayores dimensiones, los volúmenes de materias primas manipulados, así como los tamaños de los productos acabados, los ritmos de trabajo incorporados y la introducción de nuevas tecnologías.

Este panorama supone un reto para los distintos estamentos técnicos, médicos y jurídicos y cualquiera otro implicado en la protección de la salud ocupacional.

La exposición al ruido puede causar pérdida permanente de la audición. Ni las cirugías ni medicamentos pueden corregir este tipo de pérdida auditiva. La exposición corta al ruido puede también producir cambios en la audición temporal (puedes sentir que los oídos se te tapan) o un pitido en el oído (acufenos). Estos problemas de corto plazo pueden pasar en unos pocos minutos u horas después de salir del área ruidosa. De cualquier manera, la exposición prolongada al ruido puede llevar a la pérdida de la audición y a acufenos permanente.

El ruido puede también crear estrés físico y psicológico, interferir con la comunicación y concentración, y aumentar el riesgo de accidentes y lesiones al hacer difícil el escuchar las señales de advertencias. La hipoacusia inducida por ruido dificulta la habilidad para escuchar los sonidos de alta frecuencia, entender conversaciones, y menoscaba tu habilidad para comunicarte. Los efectos de la pérdida auditiva por ruido pueden ser variados como interferir en el disfrute de socializar con amigos, jugar con tus hijos o nietos, participar en actividades que disfrutas y también puede llevar a la persona a un aislamiento psicológico y social.

2.3.3.1. Sustancias Ototóxicas

Son sustancias químicas que provocan disfunciones auditivas, ya sean permanentes o transitorias, y que reciben el nombre de sustancias ototóxicas.

El ruido es el principal agente causal de pérdida de audición y otras disfunciones en el oído. Sin embargo, hace relativamente pocos años se han encontrado evidencias de que la exposición a este tipo de sustancias provoca por sí misma la pérdida de audición, o potencia los efectos del ruido. Las sustancias ototóxicas pueden encontrarse en el entorno laboral o extra-laboral.

La pérdida de audición debida a la exposición de compuestos químicos presentes en el medio laboral se ha estudiado los últimos veinte años con resultados muy significativos.

En 1986, Bergström y Nyström fueron los primeros en sugerir que la exposición a disolventes aromáticos podría ocasionar pérdida de audición. En un estudio a

lo largo de 20 años sobre la sensibilidad auditiva de 319 personas que trabajaban en distintos segmentos industriales se comprobó que un porcentaje significativo de los ocupados en el sector químico, el 23%, mostraban una pérdida de audición, mientras que en otros sectores sólo resultaban afectados entre 5% y el 8%. Todo ello a pesar de que los trabajadores del sector químico estaban expuestos a niveles de ruido de entre 80 y 89 dB(A), inferiores a los de los otros sectores (95-100 dBA).

De entre todos los disolventes orgánicos que se usan en la industria hoy en día, los efectos ototóxicos de los disolventes aromáticos son los más documentados. No obstante, se ha demostrado la ototoxicidad de otros disolventes orgánicos no aromáticos como el n-Hexano y el tricloroetileno. Estos disolventes están presentes en un sinfín de productos y procesos industriales. El tolueno forma parte de la composición de pinturas y barnices, el estireno se usa en procesos de fabricación de resinas y ambos, junto con el xileno y etilbenceno, están presentes en muchos otros sectores industriales.

Estos compuestos orgánicos tienen en general bajos puntos de ebullición, lo que les convierte en sustancias muy volátiles y de fácil inhalación. Sus efectos en el organismo van desde la irritación de los ojos y mucosas nasales hasta la generación de tumores. Aquí nos centraremos en su carácter ototóxico.

La bibliografía describe multitud de casos, en sectores industriales diversos, en los que se constata que la exposición a los disolventes orgánicos provoca una pérdida auditiva significativa. En un estudio sobre 61 trabajadores expuestos a una mezcla de disolventes orgánicos en la producción de pinturas y barnices, frente a un grupo no expuesto, se constató una pérdida de audición en las frecuencias altas en el 42% de los primeros frente a un 5% en los segundos (Sulkowski et al).

También se han registrado casos en los que se demuestra que la exposición conjunta a disolventes orgánicos y ruido produce un aumento en las posibilidades de sufrir pérdida auditiva. En un estudio llevado a cabo en 2002 sobre un grupo de 313 trabajadores de plantas de fabricación de productos de fibra de vidrio y metal y un terminal de distribución de correos (Morata et al) se comprobó que el cociente de probabilidades estimaba una pérdida de audición 1,19 veces mayor para un incremento de un año en la edad del trabajador, 1,18 veces mayor por cada dBA que se sobrepasase de los 85 dBA, y 2,44 mayor para cada milimol de ácido mandélico (indicador metabólico de la exposición al estireno) por gramo de creatinina en la orina. Los resultados sugieren que la

exposición al estireno incluso por debajo de los valores recomendados tiene efectos tóxicos sobre el sistema auditivo.

Otros estudios sobre trabajadores expuestos a insecticidas y ruido (Teixeira et al.,2003) registraron pérdidas de audición en el 63,8% de los trabajadores expuestos a los insecticidas y del 66,79% en trabajadores expuestos a los insecticidas y al ruido.

También se constató que el tiempo medio de desarrollo de la pérdida auditiva para los trabajadores expuestos a los insecticidas únicamente fue de 7,3 años; frente a los 3,4 años de media para los trabajadores expuestos a los insecticidas y el ruido.

El monóxido de carbono (CO) y el ácido cianhídrico (HCN) son dos gases asfixiantes muy peligrosos presentes en el medio profesional.

Mediante experimentación animal se ha comprobado recientemente que si bien el CO y el HCN no producen por ellos mismo una pérdida auditiva, en combinación con el ruido potencian los efectos negativos de éste.

Se han demostrado que una exposición no peligrosa al ruido puede serlo si están presentes alguno de estos dos gases.

Existen sustancias ototóxicas que no deberían estar presentes en ambientes de trabajo con exposición al ruido:

No farmacológicas:

- Tabaco y alcohol, exposiciones a mercurio, plata, oro, plomo, otros metales pesados, monóxido de carbono, ácido cianhídrico (HCN).
- Disolventes orgánicos aromáticos y no aromáticos; Tolueno / n-Hexano; Xileno / Tricloroetileno; Estireno.

Farmacológicas:

- Antibióticos del grupo de los aminoglucósidos (estreptomicina, gentamicina, amikacina, netilmicina, paromomicina, tobramicina, neomicina, etc.) y otros tales como la vancomicina, la polimixina y la minociclina.
- Diuréticos: ácido etacrínico, usado para tratar la hipertensión: furosemida, diurético usado para reducir la inflamación y la retención de líquido.
- Analgésicos: ácido acetil-salicílico (aspirina), otros.
- Antitumorales: mostazas nitrogenadas, bleomicina y cis-platino.
- Otros: quinina, cloroquina, quinidina, otros.

2.3.3.2. Daño Auditivo

La observación y el estudio de colectivos de trabajadores sometidos al ruido industrial ha podido poner de manifiesto la presencia de mayor grado de nerviosidad y/o agresividad en los trabajadores expuestos que en los que no lo están.

También pueden encontrarse trastornos de memoria, de atención, de reflejos e incluso una lenta merma de las facultadas intelectivas de los trabajadores sometidos largo tiempo al ruido.

La alteración nerviosa producida por el ruido puede reflejarse en el apartado digestivo, provocando trastornos de la digestión, ardores, dispepsias, etc.

Puede decirse, por último, que la exposición a moderados y altos niveles de ruido se corresponde con un aumento de la fatiga.

No obstante, el daño más importante que genera el ruido es el de la disminución de la capacidad auditiva.

Se puede considerar la sordera temporal – desplazamiento temporal del dintel de audición – y la sordera permanente, como las dos formas de plantearse la disminución de agudeza auditiva.

La sordera temporal aparece cuando las exposiciones a niveles de ruido, generalmente elevados, producen elevaciones del umbral de audición que se recupera posteriormente en los periodos de no exposición, no obstante, queda siempre un resto acumulativo.

En la sordera permanente, el desplazamiento del umbral de audición – debido al ruido – se produce cuando la recuperación del nivel auditivo hacia la situación anterior a la agresión sonora, no tiene lugar. Este desplazamiento permanente del umbral de audición ocurre cuando la lesión se localiza en el oído interno. En estos casos dicha lesión por trauma sonora es coclear.

2.3.3.3. Características de la pérdida auditiva

El desplazamiento temporal del umbral de audición (TTS) conlleva una recuperación posterior de la audición normal, al cabo de un tiempo del orden de las 10 horas, siempre que no se repita la exposición al ruido.

El desplazamiento del umbral suele alcanzar un máximo para frecuencias superiores a la octava siguiente al tono predominante de la exposición. Este desplazamiento tiende a producirse durante la primera hora de exposición y su amplitud depende del tipo de ruido; ruidos de frecuencias altas producen mayores desplazamientos que los de frecuencias bajas.

Estudios efectuados por TRITIPOL demuestran que la recuperación es tanto más rápida cuanto mayor ha sido el desplazamiento, existiendo un límite del orden de 50dB. A partir de los 60dB, la vuelta a la normalidad es mucho más lenta, sobre todo para frecuencias superiores a 4 000Hz, pudiendo aparecer incluso desplazamientos permanentes del umbral de audición.

2.3.3.4. Sorderas de transmisión y de percepción

El oído externo, aparte de obstaculización a la transmisión del sonido que pueda suponer la presencia de un tapón de cerumen, no presenta patología especial en cuanto a la sordera.

En el oído medio pueden presentarse anquilosis del tímpano por esclerosis, o de la cadena de huesecillos por artrosis, lo que daría origen a disminuciones de ampliación de los sonidos recibidos por el tímpano. Se interrumpiría, por tanto en alguna medida la transmisión del oído medio hacia el oído interno. Nos encontramos en el caso de una sordera por transmisión. Este tipo de sordera es curable mediante tratamiento médico: quirúrgico o protésico.

Las circunstancias cambien si se considera la sordera ubicada en el oído interno. No hay ninguna forma de recuperar un oído dañado en la zona coclear o en el nervio auditivo. Nos encontraríamos en el caso irreversible de sordera como es la sordera de percepción. Las sorderas de tipo profesional son, en muchos casos, sorderas de percepción.

Para definir si la caída de audición es debida a lesión en el oído medio o en el interno, y, por tanto, si es o no de carácter irreversible, se realizan dos tipos de audiometrías: la de transmisión ósea y la de transmisión aérea, que dan origen a la curva de audición ósea (CO) y la de audición aérea (CA).

Para la construcción de la curva de audición ósea, que refleje el funcionamiento real del nervio auditivo, se emplea un vibrador óseo que, aplicado al mastoide, hace llegar el sonido al oído interno sin el concurso del oído medio. Si la CO presenta una disminución, a distintas frecuencias, de la agudeza auditiva nos encontramos ante una sordera de percepción – irreversibles - . Si la curva de audición aérea (CA) está separada de la CO y por debajo de ésta, a las distintas frecuencias, nos encontramos con una sordera de transmisión.

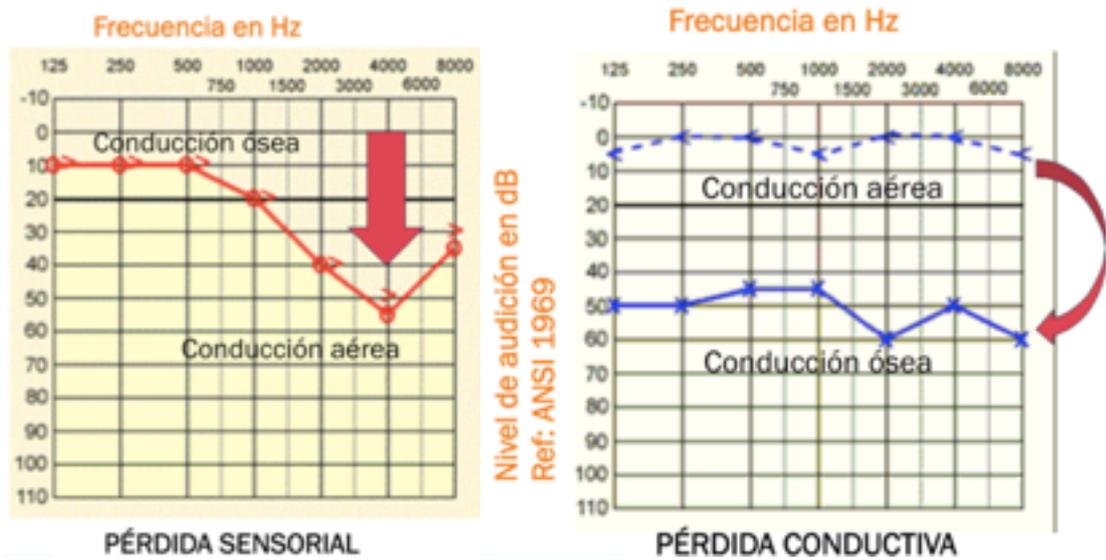


Figura 9: Curvas de audición ósea y aérea. Elaboración propia

La Audiometría

Los programas de pruebas de audiometría pueden identificar a los empleados en riesgo de pérdidas permanentes de la audición debido a un exceso de exposición al ruido en el lugar de trabajo o, a través del monitoreo de los umbrales de audición de un trabajador con el tiempo. Se pueden detectar cambios pequeños en la audición, dando la oportunidad de invertir con educación, protección auditiva, y otros esfuerzos preventivos. Si ocurre una detección e intervención exitosa mientras el cambio de audición es temporal, se evitará la hipoacusia permanente.

En segundo lugar, el análisis de la base de datos de audiometría de una población de trabajadores puede entregar información crítica sobre la calidad del programa de conservación de la audición y la salud de una población indicada.

Los programas de pruebas de audiometría se deben diseñar para la identificación precoz en vez de la simple documentación de los umbrales de audición. Además debe haber planificaciones de seguimiento de los resultados audiométricos. Para que sean útiles para el análisis de tendencias y para impulsar las decisiones de la gerencia, los datos de audiometrías deben ser confiables, válidos y accesibles.

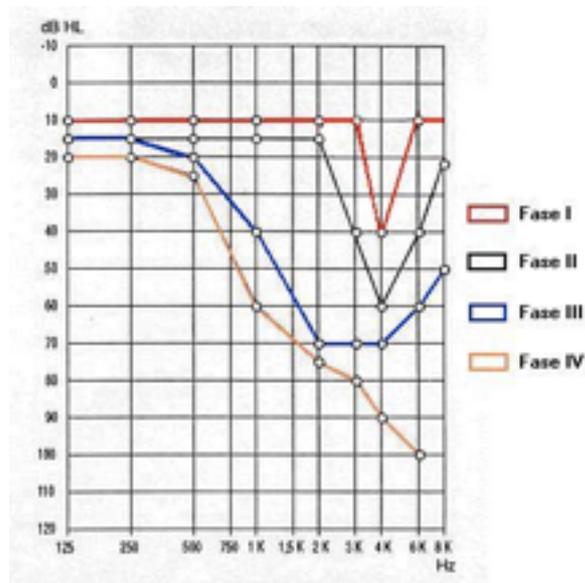


Figura 10: Fases de la pérdida de audición. Elaboración propia

2.3.4. CONCEPTOS BÁSICOS

2.3.4.1. Sonido

Sensación producida en el órgano del oído por el movimiento vibratorio de los cuerpos, transmitido por un medio elástico, como el aire. Es la combinación de tonos puros a distintas frecuencias que posee un espectro de frecuencia continua, de amplitud y longitud de onda irregulares.

2.3.4.2. Ruido

Sonido que resulta molesto, inútil, desagradable al que lo escucha.

A la hora de definir el ruido nos encontramos con que es susceptible de una dualidad de enfoque en su enunciado. Por una parte, la sensación que produce en el ser humano nos conduce a la expresión subjetiva de su definición, y por otra, una definición objetiva implica una aproximación al tema del ruido como fenómeno físico.

Dentro de las definiciones subjetivas encontramos, entre otras, aquellas que lo presentan como “sonido no grato” o “combinación de sonidos no coordinados que producen una sensación desagradable”, o aquella más amplia que lo identifica con “cualquier sonido que interfiera o impida alguna actividad humana”. La vertiente subjetiva del ruido se manifiesta más claramente en el hecho de que la persona que ejecuta una operación ruidosa “siente” menos el ruido que otra persona próxima al foco, que no se encuentra “avisada” de que se va a producir

una emisión de ruido. La explicación de este fenómeno reside en la posibilidad de actuación de músculos del oído medio, limitando la recepción sonora.

Desde el punto de vista físico, el ruido consiste en un movimiento ondulatorio producido en un medio elástico por una vibración. El desplazamiento complejo de moléculas de aire se traduce en una sucesión de variaciones muy pequeñas de la presión; estas alteraciones de presión pueden percibirse por el oído y se denominan “presión sonora”.

Si bien la partícula que vibra inicialmente puede oscilar muy poco alrededor de su posición de equilibrio, la onda o perturbación se propagara hasta el límite del sistema, salvo que su energía se disipe por razones de rozamientos.

Así pues, el avance de una onda existe transporte de energía y no existe transporte de masa.

Aunque el fenómeno sonoro responde a relaciones más complejas, para su mejor comprensión, vamos a circunscribir su estudio, en principio, a la consideración de ese como si su comportamiento se adecuara al de un movimiento ondulatorio armónico simple de tipo sinusoidal.

2.3.4.3. Frecuencia de onda de ruido

Símbolo f . Unidad Hertzio (Hz). Es el número de pulsaciones de una onda acústica sinusoidal ocurrida en el tiempo de un segundo.

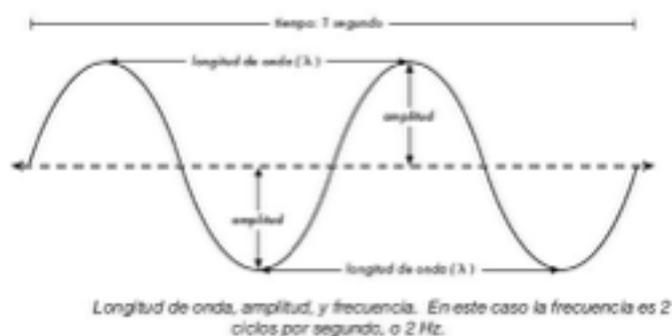
A veces se utiliza el concepto de velocidad angular (o frecuencia angular), relacionando con la frecuencia mediante la expresión $\omega = 2\pi f$.

La frecuencia principal de un sonido es lo que determina su tono característico, por ejemplo, el estruendo de un trueno lejano tiene una frecuencia baja, mientras que un silbido tiene una frecuencia alta.

Un sonido puede no tener más que una sola frecuencia, tratándose en tal caso de un “sonido puro”; lo más frecuente es que los sonidos que oímos en la práctica y sobre todo los ruidos, sean una amplia mezcla de distintas frecuencias.

El tono de un sonido compuesto está determinado por la frecuencia principal, que normalmente va acompañada de un cierto número de armónicos que determina su timbre.

Figura 11



2.3.4.4. Periodo de Onda de Ruido

Símbolo T. Unidad segundo (sg). Es el tiempo transcurrido en completar un ciclo. Su relación con la frecuencia es: $T=2\pi/f$

2.3.4.5. Elongación de una Onda de Ruido

Símbolo x. Es el desplazamiento del punto en vibración respecto a su posición de equilibrio. Cuando la elongación es máxima se denomina amplitud (A) o altura de pico.

$$X=A(\text{sen}(2\pi ft))=A(\text{Sen}(wt))$$

Entre los picos máximos y mínimo (expansión y compresión máximas) el espacio existente es el doble de la amplitud o amplitud pico a pico.

Habida cuenta de que los equipos de medición del sonido suelen presentar frecuentemente sus respectivas en valores eficaces o RMS (root mean square) vamos a considerar también este parámetro.

2.3.4.6. Valora Eficaz de una Onda de Ruido (RMS)

Símbolo Aef. Se define como la raíz cuadrada del valor medio de la elongación al cuadrado.

$$Aef = \left[\frac{1}{T} \int_0^t x^2 dt \right]^{1/2}$$

2.3.4.7. Valora Medio de una Onda de Ruido

Símbolo Am.

Sin considerar el signo del desplazamiento, y a lo largo de un periodo, es el valor medio representativo de la sinusoide y viene dado por la expresión.

Los anteriores conceptos se simplifican dado que hemos considerado el movimiento de la onda como sinusoidal; las relaciones entre ellos serían entonces:

$$Am = \frac{1}{T} \int_0^t x dt$$

$$A_{ef} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot A = 0,707A$$

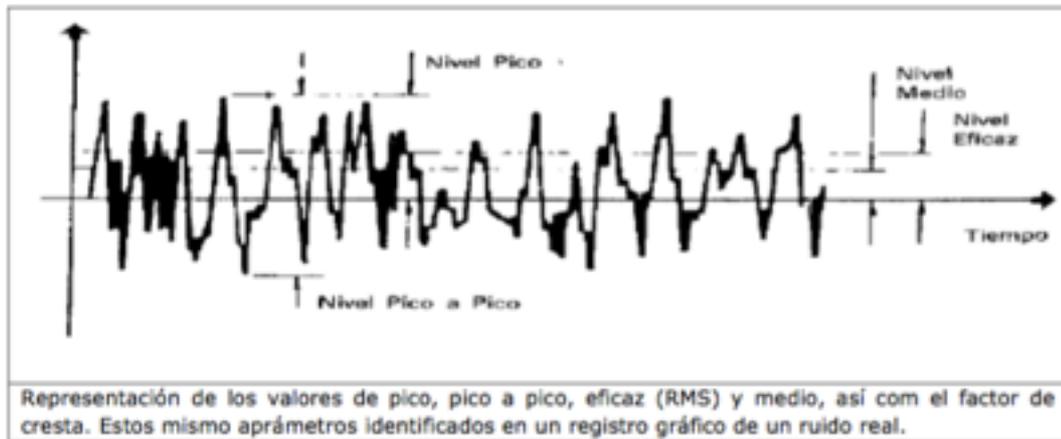


Figura 12

2.3.4.8. Longitud de una Onda de Ruido

La distancia recorrida por una onda durante un tiempo igual al periodo T, se llama longitud de onda.

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f}$$

c= velocidad del sonido en el medio transmisor.

Cuando el medio transmisor en el que se transmite el sonido es el aire, la velocidad es función de la presión atmosférica.

$$c = \left[\frac{1,4Pa}{e} \right]^{1/2}$$

c=velocidad del aire en m/s

Pa= presión atmosférica en pascuales.

e= densidad del aire en kg/m³

En condiciones normales, la velocidad del sonido en el aire es de 331,2m/s

Cuando las condiciones difieren de las normales

$$c = 331,2\sqrt{\left(1 + \frac{T}{273}\right)}$$

Los sonidos de baja frecuencia tienen longitudes de onda largas que les permiten bordear mejor los obstáculos, por lo que son más difíciles de aislar. Cabe destacar que cuanto mayor sea la frecuencia, más corta será la longitud de onda; o inversamente, cuanto menor sea la frecuencia más larga será la longitud de onda.

Esto es importante al seleccionar las medidas adecuadas de control del ruido.

2.3.4.9. Campo Acústico Libre

Aquel donde el sonido se propaga libremente sin ningún tipo de reflexión. Un ejemplo de este tipo de campo es la cámara anecoica.

2.3.4.10. Campo Acústico Difuso

Cuando el sonido se propaga en un campo no libre de forma que las ondas sonoras se propagan en todas las direcciones y que la presión sonora es igual en todos los puntos de ese recinto, se dice que el campo acústico es perfectamente difuso.

2.3.4.11. Resonancia

Capacidad de vibrar que tiene un objeto. Es la manera en que la onda, audible o no, hace que las cosas vibren en mayor proporción de lo normal.

Todos los cuerpos o materiales físicos tienen lo que se denomina la "frecuencia de resonancia": una pared, un edificio, una copa, el cuerpo humano y sus órganos, un bolígrafo, un puente, etc.

2.3.4.12. Reverberación

En un lugar que no es un campo libre y donde existen superficies reflectantes de sonido, puede ocurrir que éste permanezca aun cuando la fuente sonora ha cesado de emitir, este fenómeno se llama reverberación.

Es un fenómeno derivado de la reflexión del sonido dentro de un espacio cerrado.

Consiste en una ligera prolongación del sonido una vez que se ha extinguido el de la fuente original. Esta prolongación es debida a las ondas reflejadas por las diferentes superficies del espacio.

Con lo que podemos entender que si modificamos las superficies del local, la reverberación se vería afectada.

2.3.4.13. Tono

También llamado altura de un sonido, es la cualidad mediante la cual distinguimos los sonidos en graves o agudas, de forma que; la sensación sonora

aguda procede de sonidos producidos por focos sonoros que vibran a frecuencias elevadas. L

a sensación sonora grave procede de sonidos producidos por focos sonoros que vibran a frecuencias bajas.

2.3.4.14. Timbre

Cualidad mediante la cual podemos distinguir dos sonidos de igual intensidad e idéntico tono que han sido emitidos por focos sonoros diferentes.

Físicamente el timbre de un sonido se relaciona con el hecho de que casi nunca un sonido es puro, es decir, nunca un sonido corresponde a una onda dada por

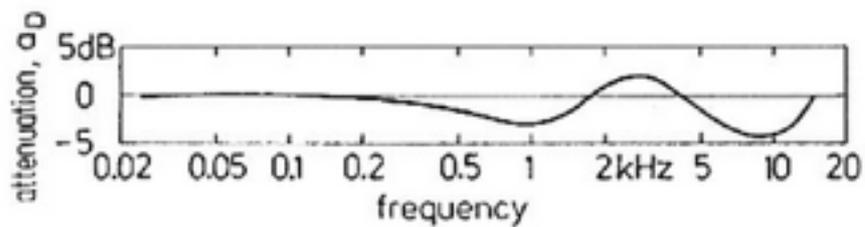


Figura 14

Fuente: Hechos y modelos de físicoacústica de E. Zwicker, H Fastl

$Y=A(\sin(\omega t))$, sino que, dependiendo del tono, suele haber una frecuencia fundamental a la que pertenece la mayor parte de la energía de ese sonido, y otras frecuencias que también llevan asociadas unas cantidades de energía y responden a una ecuación similar. $Y'=A(\sin(\omega' t))$

Estas ondas, proporcionales a la principal, se superponen a ésta y se las denomina armónicos de la frecuencia fundamental.

2.3.4.15. Bandas Críticas de Frecuencia

Una crítica banda

banda es una d e

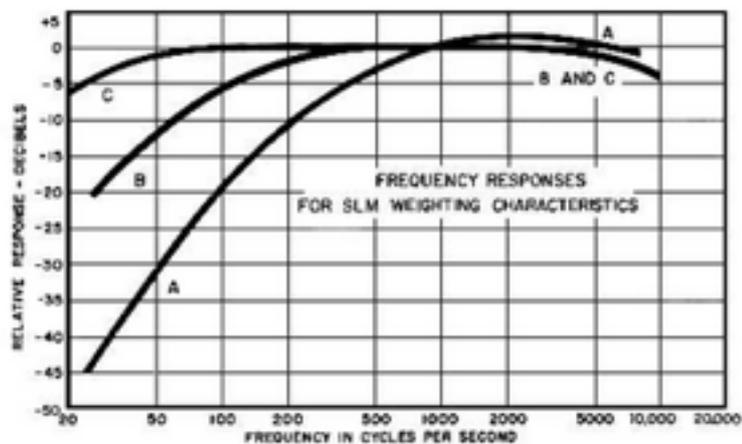


Figura 15

Fuente: Manual de Ecología acústica, B. Truax

frecuencia centrada alrededor de un tono tal que el enmascaramiento producido por un ruido blanco que se extiende hasta afuera de dicha banda no es mayor que si el ruido se limita sólo a la banda (suponiendo la misma potencia total). Pueden nombrarse bandas porcentuales, de octavas o de tercios de octavas.

2.3.4.16. Sonoridad

Cualidad de la sensación auditiva que permite apreciar la mayor o menor intensidad de los sonidos. Se mide en fonios

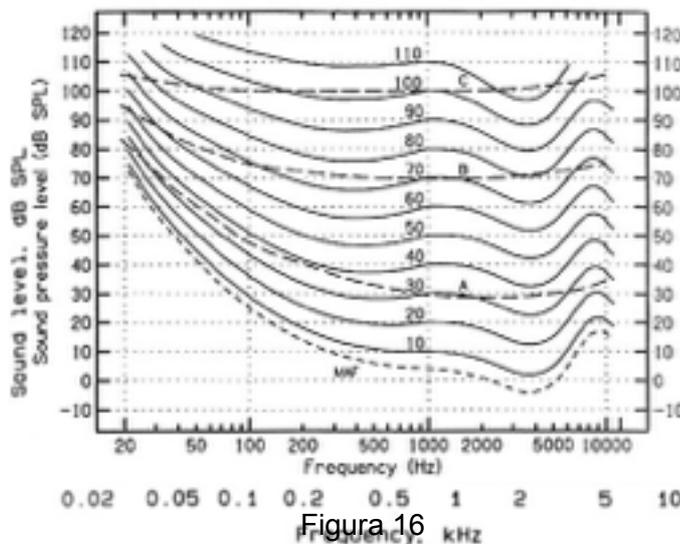


Figura 16

Las curvas Fuente: Introducción a la psicoacústica BJC Moore en 1933 por Robinson y Dadson

Figura 13

mostradas son válidas para el campo sonoro directo. Nuestro sistema auditivo no es sensible por igual a sonidos provenientes de diferentes direcciones. Esa dependencia de la dirección está relacionada también con la frecuencia. Es por eso que las curvas de igual sonoridad no serán iguales en el campo sonoro directo y en el campo sonoro difuso, es decir, en una situación en que el sonido venga de todas direcciones.

La siguiente curva muestra la corrección necesaria para que un sonido tenga igual sonoridad en el campo sonoro directo y en el difuso, en dependencia de la frecuencia de dicho sonido senoidal.

2.3.4.17. Red de Ponderación

Las curvas de sonoridad tienen consecuencias directas en la reproducción de sonidos, dado que el balance (de alguna manera tímbrico) interno de los mismos varía según la intensidad con la cual el sonido es reproducido. Si se disminuye el

nivel general
l a s

del sonido,

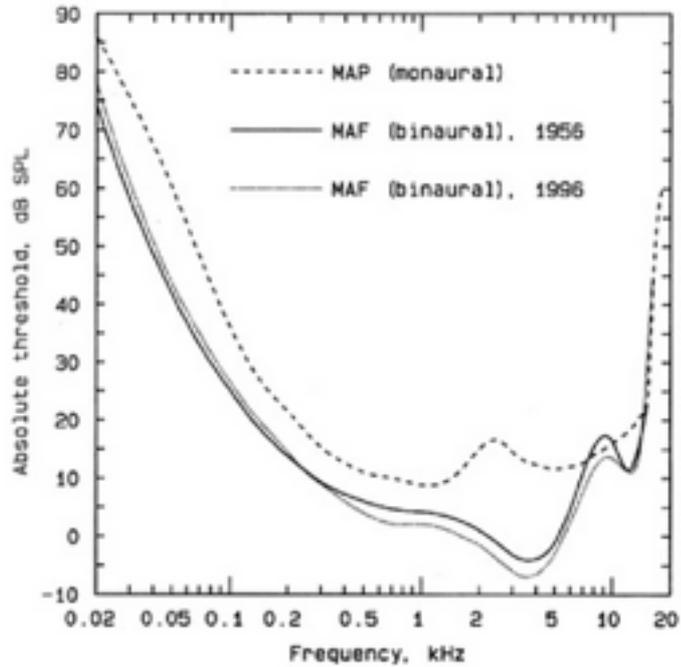
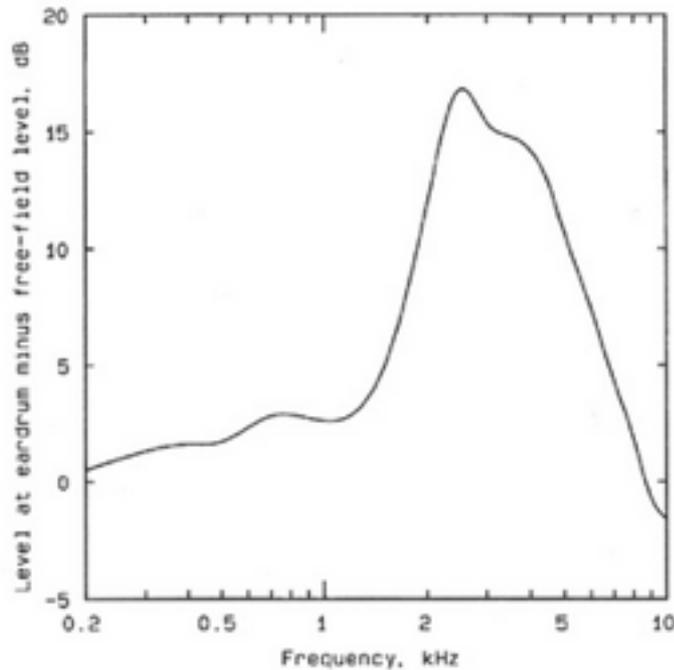


Figura 17

Fuente: Introducción a la psicoacústica. BJC Moore
componentes de frecuencias graves y las más agudas desaparecerán primero, producto de la característica de respuesta de nuestro sistema auditivo.

Estas curvas también fueron utilizadas para diseñar medidores de nivel de presión que respondan a las características de nuestro sistema auditivo, a partir de la introducción de filtros similares a la curva de respuesta de nuestro sistema auditivo. Se usan los filtros de ponderación con curvas A, B y C (que dan lugar a

las escalas
dbA, dBB y
las curvas A
son las más



de decibeles
dBC), donde
y luego la C
utilizadas.

Figura 18

Fuente: Introducción a la psicoacústica. BJC Moore

La escala A está pensada como atenuación similar al oído cuando soporta niveles de presión sonora bajos a las distintas frecuencias, o dicho de otra forma, cuando se aproxima a las curvas de igual intensidad para bajos niveles de presión sonora.

La escala B representa la atenuación para niveles intermedios y la C para altos.

La escala de atenuación D está pensada para muy altos niveles de presión sonora, por encima de los 120dB, como el ruido producido por reactores.

Escala A para < 55dB

Escala B para 55-85dB

Escala C para >85dB

2.3.4.18. Umbral Absoluto de Audibilidad

Es la mínima intensidad o presión necesarias para que un sonido pueda ser percibido. Se puede medir mediante la mínima presión audible (MAP, por sus siglas en inglés) y el mínimo campo audible (MAF, por sus siglas en inglés).

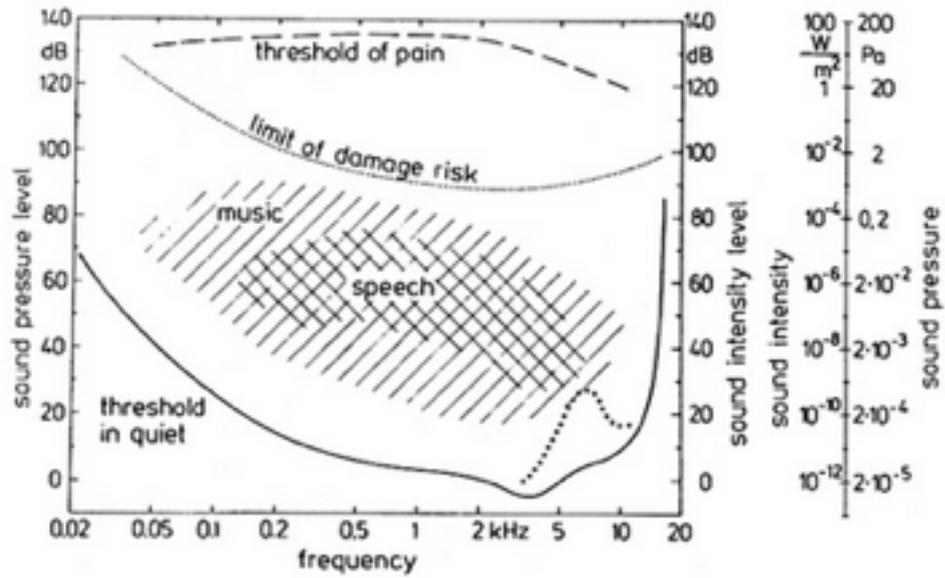


Figura 19

Fuente: Físico acústica, hechos y modelos. E. Zwicker, H. Fastl

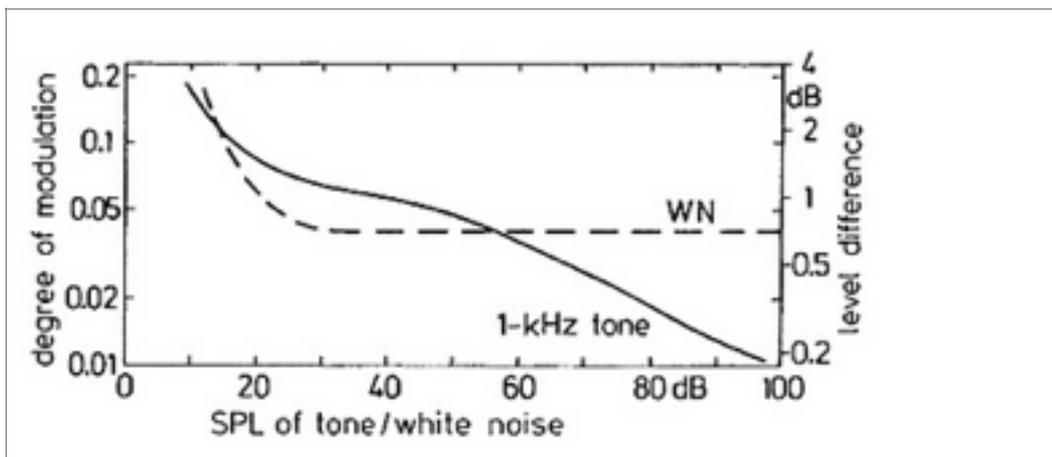


Figura 20

Variación de Intensidad

Fuente: Físico acústica, hechos y modelos. E. Zwicker, H. Fastl

El umbral de audibilidad no depende sólo de la intensidad o presión, sino que también es dependiente de la frecuencia del sonido senoidal de prueba. Nuestro sistema auditivo tiene un área de mayor sensibilidad entre los 500 y los 3 000Hz, producida principalmente por las curvas de respuesta del sistema auditivo periférico (oído externo, medio e interno).

La mínima presión audible (MAP) se mide colocando pequeños micrófonos dentro del canal auditivo. La información (señal de prueba) es enviada, por lo general, por medio de auriculares. En el caso del mínimo campo audible (MAF) la medición se realiza en ausencia del sujeto, en cámaras anecoicas, colocando un micrófono en el centro mismo de donde encontraba la cabeza del sujeto.

Las diferencias fundamentales entre una curva y otra (zona entre los 1,5 y los 6kHz) están dadas principalmente por las resonancias producidas en el pabellón y el canal auditivo externo. El oído externo aumenta la presión sonora en el tímpano en unos 15dB para frecuencias entre 1,5 – 6kHz. La transmisión del oído medio es más eficiente para frecuencias medias.

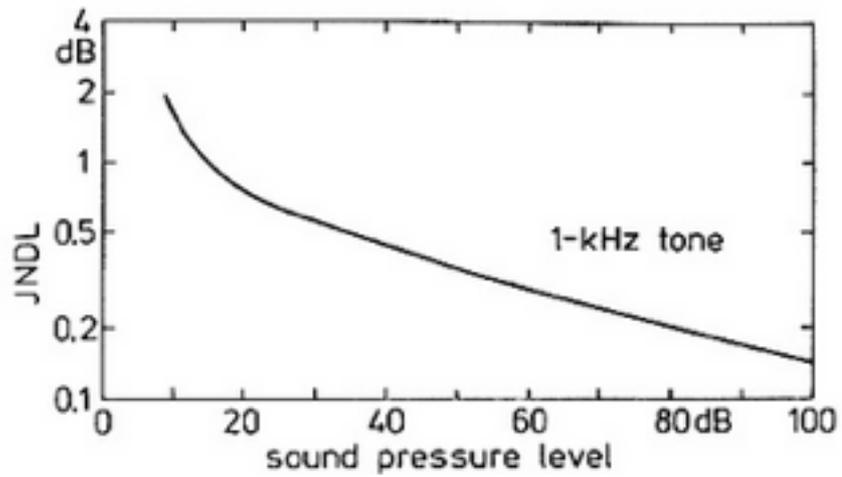


Figura 23: Umbral de mínima diferencia perceptible
Fuente: Físico acústica, hechos y modelos. E. Zwicker, H. Fastl

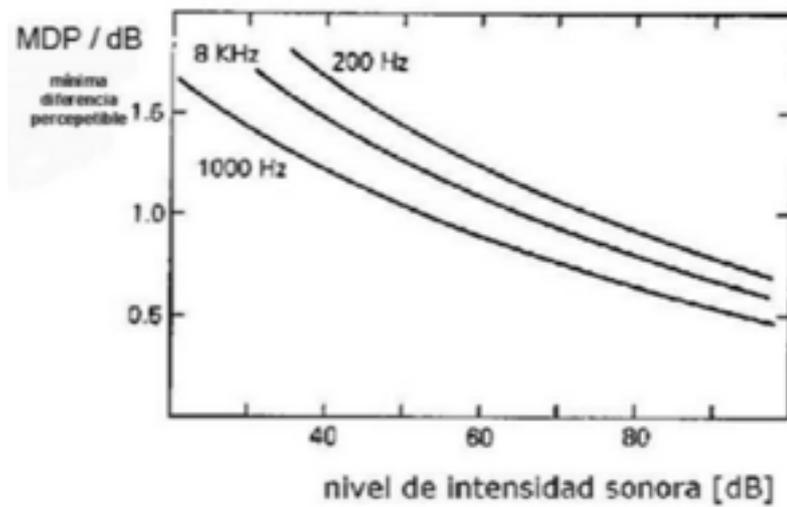


Figura 24: Fuente: Físico acústica, hechos y modelos. E. Zwicker, H. Fastl

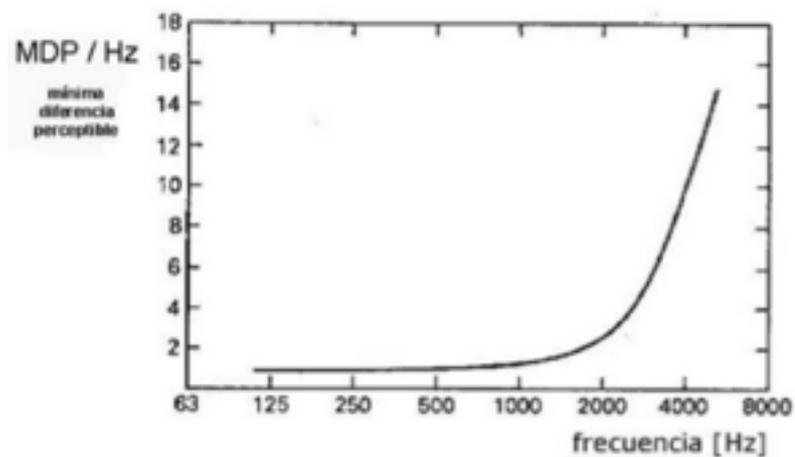


Figura 25: Fuente: Acústica Musical. D.Hall

Originalmente (curvas calculadas por Fletcher y Munson) el umbral de audibilidad había sido definido como la mínima presión necesaria para percibir un sonido senoidal de 1kHz. La presión necesaria para ello es de $2 \times 10^{-5} \text{N/m}^2$ (o una intensidad de 10^{-12}W/m^2), valor tomado además como referencia para la determinación de valores absolutos. Es decir, el umbral de audibilidad es de 0dB para 1kHz.

Sin embargo, cálculos más recientes de las curvas (Robinson y Dadson) mostraron que, si se mantiene el valor de $2 \times 10^{-5} \text{N/m}^2$ como valor de referencia, el umbral de audibilidad es de +3dB para 1kHz.

2.3.4.19. Umbral Absoluto de Frecuencia

Por lo general se toman los valores de 20Hz y 20 000Hz como los umbrales de frecuencia de la audición. Es decir, nuestro sistema auditivo no percibe señales con frecuencias menores a los 20Hz o mayores a los 20kHz. En otra literatura pueden encontrarse los valores de 16Hz y 16kHz.

El umbral superior de frecuencias es dependiente de la edad. Con el paso del tiempo se deterioran las células capilares del órgano de Corti, lo que tiene como consecuencia que cada vez percibamos menos las frecuencias agudas. La exposición prolongada a sonidos dañinos puede contribuir a acelerar esta pérdida de percepción de las frecuencias más agudas.

2.3.4.20. Umbral Absoluto de Audición

2.3.4.21. Umbral Diferencial

Son las mínimas variaciones de uno de los parámetros del estímulo físico, necesarias para que se produzca un cambio en la sensación.

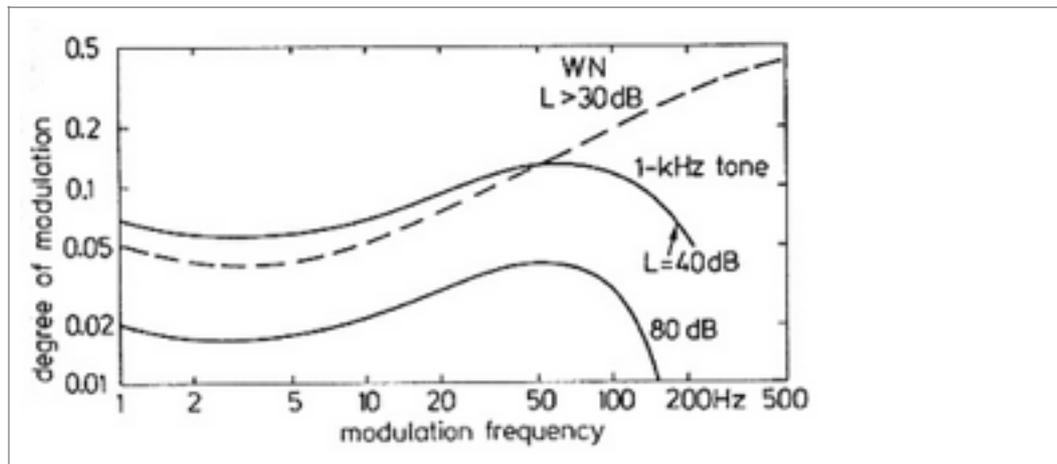


Figura 21

Mínima variación perceptible

Fuente: Físico acústica, hechos y modelos. E. Zwicker, H. Fastl

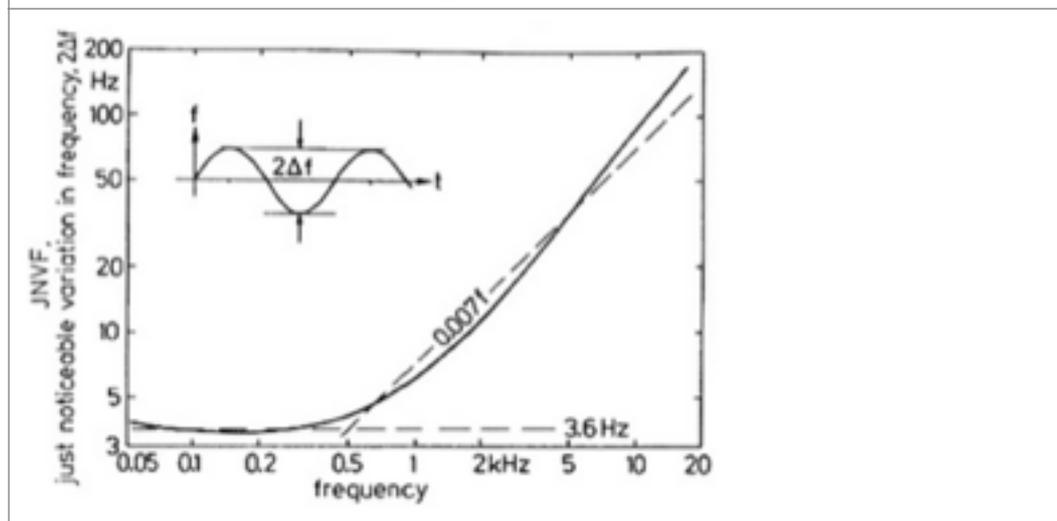


Figura 22

Fuente: Físico acústica, hechos y modelos. E. Zwicker, H. Fastl

Los umbrales de mínima variación perceptible (MVP) se miden variando uno de los parámetros de un sonido mediante la modulación de amplitud, frecuencia u otro. Las personas podemos percibir variaciones de 0,7% de la frecuencia.

Los umbrales de mínima diferencia perceptible (MDP) se miden presentando dos señales diferentes al sujeto. El sistema auditivo es capaz de percibir diferencias de frecuencia de aproximadamente 1hz hasta los 500Hz, mientras que a partir de allí la curva crece con una pendiente de aproximadamente $0,002f$, lo que implica percibir diferencias de frecuencia de aproximadamente 0,2% como se muestra en el tercer gráfico.

Es de notar que los umbrales de mínima variación perceptible y de mínima diferencia perceptible en frecuencia están representados prácticamente por la misma curva, en una relación aproximada de 3:1 (aproximadamente 3,6Hz en el de MVP y el 1Hz en el umbral de MDP), y con una diferencia en la pendiente de la curva por encima de los 50Hz.

2.3.4.22. Intensidad de una Onda de Sonido

Según sea la vibración de un foco sonoro así será la amplitud, la intensidad es proporcional al cuadrado de dicha amplitud y podemos así clasificar los sonidos en fuertes o débiles.

En un campo libre, en la dirección de propagación y para ondas esféricas la intensidad viene dada por:

$$I = \frac{P^2}{ec}$$

P= presión sonora eficaz

e = densidad del medio

c= velocidad del sonido en el medio

El producto e.c se conoce como impedancia característica del medio. En el aire y en condiciones normales e.c=40,8 unidades c.g.s.

La impedancia característica, varía con la temperatura y la presión.

La intensidad acústica vendría a ser la cantidad de energía que, en la unidad de tiempo, atraviesa una unidad de superficie situada perpendicularmente a la dirección de propagación de las ondas sonoras. Se mide en W/m². La intensidad acústica es la propiedad del sonido que hace que éste se oiga fuerte o débil. Cuanto más fuerte sean las compresiones y dilataciones de las capas de aire, más intenso será el sonido. En la escala de intensidades el umbral auditivo es 10⁻¹² W/m² y el umbral doloroso 25 W/m².

A medida que una onda sonora se va alejando de su fuente de origen ha de cubrir una mayor superficie, con lo que su intensidad disminuye hasta hacerse imperceptible.

2.3.4.23. Nivel Sonoro

El decibelio es una cantidad adimensional que expresa el valor relativo de una energía respecto a su valor de referencia; expresado de este modo se denomina *nivel*.

$$dB = 10 \log \frac{E}{E_0}$$

Nivel de presión sonora también se expresa como:

$$Np = 10 \log \frac{PEF^2}{PEFO^2} = 20 \log \frac{PEF}{PEFO}$$

$$PEFO = 2 \times 10^{-5} N/m^2 \rightarrow PEF = \sqrt{10^{(N/10)} \times (2 \times 10^{-5})^2}$$

2.3.4.23.1. Suma de Niveles Sonoros

Esta magnitud adimensional se encuentra afectada por una expresión logarítmica; su manejo necesita la aplicación correcta de las leyes matemáticas que la afectan.

$$Nt = 10 \log \sum_l 10^{(Nl/10)}$$

En el caso de n fuentes iguales el nivel total será:

$$Nt = N + 10 \log (n)$$

GRÁFICO PARA SUMAR dB

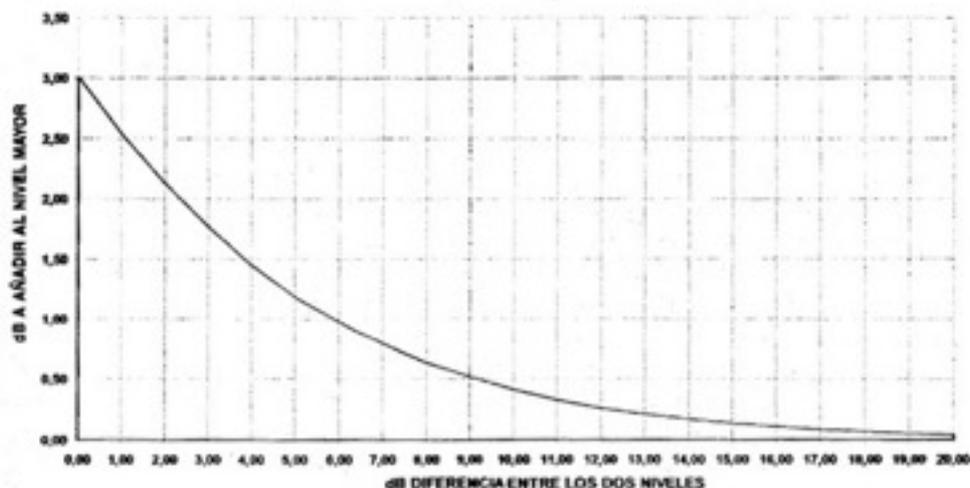


Figura 26

En la suma de dos niveles sonoros entre los que hay una diferencia ≥ 10 dB el resultado es superior al nivel más alto en $\leq 0,42$ dB. Si Consideramos que los equipos de uso normal para la medición del nivel sonoro, sonómetros de tipo II, tienen una tolerancia de ± 1 dB, resulta que, en la práctica, cuando sumamos dos

niveles de ruido que tienen una diferencia igual o superior a 10dB el nivel inferior no se considera.

2.3.4.23.2. Resta de Niveles Sonoros

$$N_2 = 10 \log (10^{(N_T/10)} - 10^{(N_1/10)})$$

N_1 , nivel de presión sonora de la fuente 1.

N_2 , nivel de presión sonora de la fuente 2.

N_T , nivel de presión sonora suma de ambas fuente.

El nivel de ruido que es atenuado por un aislamiento se determina restando del nivel de ruido sin atenuar los dB correspondientes a la atenuación. Esta operación es aritmética.

2.3.4.23.3. Determinación del Nivel Sonoro Medio

En los casos en los que se realizan varias determinaciones es a veces necesario calcular su valor medio.

Procedimiento:

- Determinar para cada nivel (N), el cuadrado de la presión efectiva (P_{EF}).

$$P_{ef}^2 = 10^{N/10} \times (2 \times 10^{-5})^2$$

- Calcular la media aritmética de las presiones efectivas.

$$P_{efmedia}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_{efi}^2}{n}$$

- Establecer el nivel sonoro que le corresponde al cuadrado de la presión efectiva media.

$$N_{medio} = 10 \times \log \left(\frac{P_{efmedia}^2}{P_{ef0}^2} \right)$$

2.3.4.23.4. Nivel de Ruido Continuo Equivalente

El nivel de ruido equivalente representa la integración de la curva

La determinación de la exposición al ruido debe utilizar el concepto de *nivel de ruido equivalente diario*, donde el tiempo t de integración de la curva se establece en 8 horas, con independencia del tiempo que dure la jornada diaria.

Nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado A, $L_{Aeq,T}$: El nivel, en decibelios A, dado por la ecuación:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{PA(t)}{P_0} \right)^2 \times dt \right]$$

Nivel diario equivalente, $L_{Aeq,d}$: El nivel, en decibelios A, dado por la ecuación:

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log \frac{T}{8}$$

Donde T es el tiempo de exposición al ruido, en horas/día. Es importante que se tenga claro que si T se expresa en horas/jornada de trabajo que el trabajador está expuesto, siempre se referencia a 8 horas/día, que es el tiempo de jornada estándar; en caso de expresar T en minutos/jornada de trabajo, la referencia de jornada estándar serán 480 minutos/jornada. En definitiva, el nivel de ruido equivalente representa, en forma de nivel de ruido, energía que el trabajador recibe durante el tiempo de exposición, y el tiempo de exposición en la higiene industrial siempre se referencia a 8 horas/día y 40 horas/semana.

2.3.4.24. Ciclos de Trabajo

Realizando el estudio por tareas se puede montar un ciclo en el que se realicen todas o algunas de las tareas ya estudiadas durante tiempos distintos.

En la práctica, se pueden presentar situaciones complejas como consecuencia de los ciclos de trabajo realizados en algunos puestos, trabajos a turnos, trabajos rotativos y la combinación de los dos.

El puesto de trabajo en el turno de las 6 a las 14 horas – turno mañana – suele ser más ruidoso por la influencia que pueden producir trabajos de mantenimiento, otros puestos de trabajo con jornada única, continua o partida – carga y expedición de producto, recepción de materias primas, etc.

En el turno de las 22 a las 6 horas – turno noche – normalmente solo permanecen los puestos mínimos de producción, e incluso algunos equipos no funcionan durante este horario. En consecuencia el ciclo de trabajo puede durar tres, cuatro, incluso cinco semanas. Cuando los ciclos de trabajo duran más de una semana es posible la determinación del nivel equivalente del ciclo.

- Instalaciones con trabajo a tres turnos y para rotación semanal, el ciclo dura tres semanas.

- Instalaciones con funcionamiento continuo a tres turnos, el ciclo dura cuatro semanas, ya que se desarrolla por cuatro relevos, un relevo por turno y uno más que es el encargado de cubrir los descansos.
- Ciclos de cinco semanas en las instalaciones con cuatro turnos desarrollados por cuatro relevos más un quinto relevo para los descansos.

Basándose en que la pérdida permanente de audición ocasionada por la exposición a niveles elevados de ruido se puede considerar como un efecto acumulativo consecuencia de energía recibida, se plantea el procedimiento de cálculo basado en el ciclo completo de trabajo, considerando el Nivel de ruido equivalente diario de cada jornada de trabajo como una tarea y aplicando el cálculos correspondientes.

En el Perú, las autoridades no establecen parámetros claros para ciclos de trabajo diferentes.

2.3.4.25. Dosis de Ruido

Está relacionada al nivel criterio. La lectura que alcanzaría el dosímetro o instrumento de medición si el tiempo de medición correspondiera al total de la tarea.

$$L_{Aeq,d} = 85 + 10 \log \frac{Dosis}{100}$$

$$\%Dosis = 100 \times \frac{Texp}{28800} \times (2)^{((Leq-85)/3)}$$

2.3.4.26. Nivel de Exposición (NE)

Valor de exposición que es representativo para un grupo de trabajadores evaluados, se utiliza para representar la exposición de un grupo de exposición similar. Comúnmente se utiliza el límite superior de confianza (UCL) de la media.

2.3.5. *EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN AL RUIDO*

2.3.5.1. Equipos para la toma de muestras

2.3.5.1.1. *Sonómetro*

Para la determinación del nivel de ruido continuo equivalente diario se realiza con equipos electrónicos e informáticos que comparte el siguiente diagrama básico.

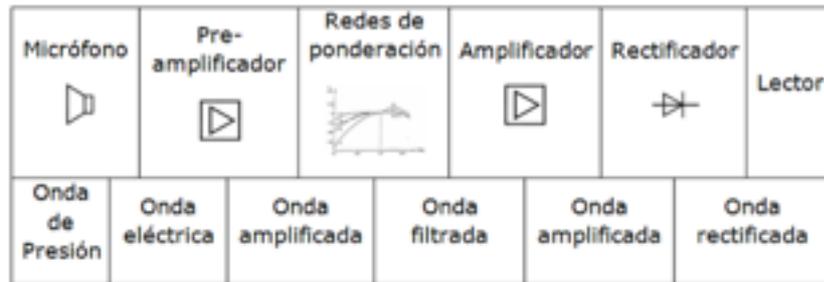


Figura 27

2.3.5.1.2. *Micrófono*

Usualmente es el componente más caro del equipo y el que más expuesto está a golpes y choques. Para su montaje no deben usarse herramientas, se coloca a mano.

Transforma las variaciones de presión de las ondas sonoras en señales eléctricas. Las características que debería poseer un micrófono son:

La onda eléctrica generada se debe corresponder con la onda de presión en todos los parámetros que la definen.

La presencia del micrófono no debe producir perturbaciones en el campo sónico.

La respuesta en frecuencias del micrófono debe ser plana.

Para el ámbito de potencias sonoras y el de frecuencias que es de aplicación el micrófono la respuesta eléctrica debe ser lineal respecto a la presión sonora.

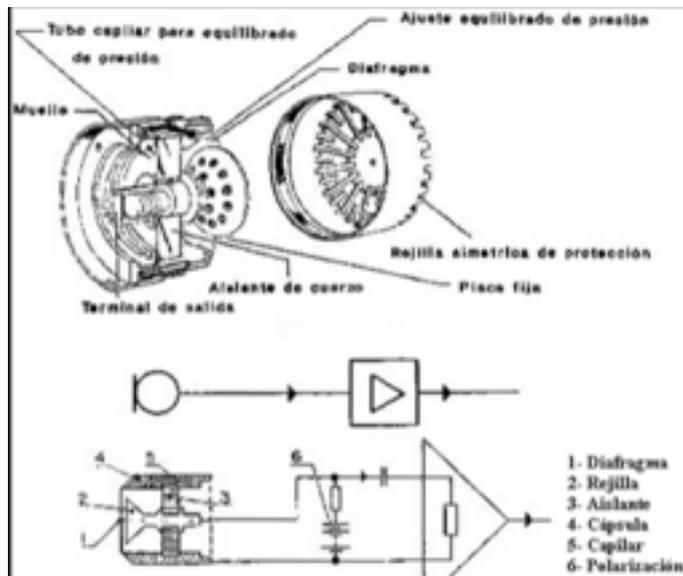


Figura 28

En el micrófono condensador el diafragma y la placa rígida forman un condensador que se alimenta con una polarización, creando una diferencia de tensión entre el diafragma y la placa fija. La onda de presión, al chocar contra el diafragma, produce una variación en la distancia entre este y la placa fija variando la capacidad del condensador en función de la amplitud y de la frecuencia del tren de ondas que recibe, y así produce una señal eléctrica que se corresponde con la excitación exterior que recibe.

El soporte de la placa fija se efectúa sobre un disco aislante de cierre que divide la cápsula del micrófono en dos sectores unidos por un tubo capilar para que equilibre la presión entre ambas partes.

La polarización del condensador puede realizarse desde una fuente externa o desde una fuente interna para los llamados micrófonos prepolarizados. La fuente interna está formada por una capa de material polímero especial, Electret, de tal modo que en una cara de esta capa se sitúan las cargas positivas y en la otra las negativas.

Se encuentran dos tipos de prepolarizados, según la capa fina de material Electret se sitúe sobre la membrana o sobre la placa fija.

Los micrófonos piezoeléctricos o cerámicos cuentan con un diafragma unido mecánicamente a un elemento piezoeléctrico, normalmente cuarzo.

Dadas sus características, este tipo de micrófonos son menos sensibles a la humedad; al manejo brusco por su alta resistencia mecánica y no necesitan de un voltaje externo para su funcionamiento. Presenta algunas desventajas como una sensibilidad relativamente más baja; no se deben de exponer a vibraciones ni a temperaturas extremas del ambiente.

La sensibilidad de un micrófono está definida como la relación entre la salida eléctrica y el nivel de presión sonora que recibe el diafragma. Se expresa en mV/Pa.

El valor normal para micrófonos de alta sensibilidad es 50mV/Pa y depende del diámetro del micrófono y de la dirección en la que la presión sonora incide sobre el micrófono, aunque todos son considerados omnidireccionales a frecuencias menores a 5kHz

La gama dinámica es la banda de valores mínimo y máximo de nivel de presión sonora entre los que la respuesta del micrófono es lineal.

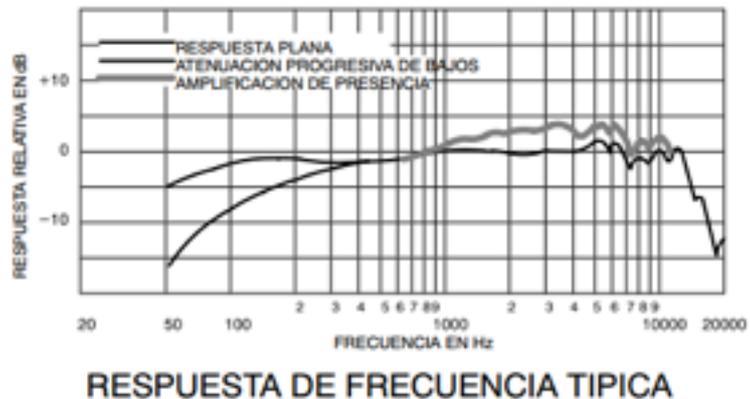


Figura 29

2.3.5.1.3. Preamplificador

Normalmente situado en la caña de acoplamiento del micrófono, y en otros casos en el interior de la carcasa del equipo.

Adapta la señal eléctrica de salida del micrófono a la de entrada del amplificador; las características que los hacen idóneos son que tengan un bajo ruido eléctrico y una amplia respuesta en frecuencias y gama dinámica.

2.3.5.1.4. Amplificador

Ha de contar, fundamentalmente, con las características siguientes:

Ampliar la señal recibida para que permita las determinaciones de los niveles sonoros más bajos posibles.

Respuesta plana en la gama de frecuencias entre 10Hz y 20kHz.

El nivel de ruido eléctrico debe ser el más bajo posible, y en todo caso inferior al nivel de presión sonora que se pretende medir dentro de la gama de frecuencias del micrófono.

Mantener constante el factor de amplificación en toda la gama de frecuencia del aparato.

2.3.5.1.5. Redes de ponderación

Los sonómetros cuentan con ponderaciones para que la señal mostrada en la pantalla pueda compararse adecuadamente a la sensible al oído humano.

Ponderación A: Según los gráficos de sensación acústica de Fletcher y Munson, en las que se demuestran que el oído humano no responde igual a todas las frecuencias, los aparatos de medición deben incluir esta ponderación para evaluar ambientes ruidosos no impulsivos.

Ponderación B: Se estableció al igual que el A, pero en algunos sonómetros no se incluye.

Ponderación C: La curva es bastante uniforme entre los 50 y 20Hz. Cuando un sonómetro no incluye la ponderación plana o lineal se puede utilizar, con una

buena aproximación, el nivel global en C. El uso de la ponderación C, esto es, la determinación del nivel en dB(C) tiene aplicación en el cálculo de la atenuación de los protectores auditivos.

Ponderación D: Para la determinación de niveles sonoros en aeronaves (muy altas frecuencias).

Ponderación plana o lineal: Corresponde con el nivel de presión acústica ambiental como fenómeno físico, sin sufrir atenuaciones para ajustarse a algún tipo de respuesta normalizada, y se expresa en dB (decibeles “físicos” o “lineales”)

2.3.5.1.6. *Filtros de ancho de banda de frecuencias*

La onda que choca contra la membrana del micrófono es una onda compleja portadora de todas o de un gran número de frecuencias.

Se presenta la necesidad de tener un mayor conocimiento de esa onda compleja con el estudio más profundo del fenómeno, normalmente expresado como análisis del ruido.

El filtro podemos definirlo como un sistema electrónico en el cual el factor de transferencia para las frecuencias para las que se construye es la unidad y cero para el resto.

El filtro ideal solo permite el paso de las frecuencias comprendidas entre la inferior y la superior; sin embargo el filtro real no define tan nítidamente las frecuencias. Se establece que el ancho de banda en el filtro real es el correspondiente a una caída en el nivel de 3dB, o lo que es lo mismo para la mitad de la presión acústica.

Los filtros de banda, además de definir el ancho de banda, deben definir la calidad del filtro. El procedimiento más adecuado es definir la pendiente de los flancos indicando la frecuencia para una atenuación determinada.

Filtros de ancho de banda constante: la diferencia entre la frecuencia inferior y la superior es constante, con independencia del valor que tengan estas. Filtro ancho de banda de 50Hz.

Filtros de ancho de banda de porcentaje: el ancho de banda cumple la relación:

$$\text{Banda}_N = \text{Banda}_{N-1} \times \left(1 + \frac{X\%}{100}\right)$$

Filtros de ancho de banda proporcional:

En filtros de ancho de banda de una octava: $f_2=2f_1$ mientras que un filtro de un tercio de ancho de banda de octava tienen un ancho de banda de $f_2=f_1 \times \sqrt[3]{2}$

Uno de los problemas que se presenta al realizar el análisis de banda es la variabilidad del nivel sonoro durante el tiempo empleado por el operador en las lecturas del nivel en cada banda; los equipos sonométricos modernos y de medias prestaciones no presentan este problema, ya que vienen dotados de memoria y analizador de banda de una octava y/o de tercio de octava, con respuesta en tiempo real del total del espectro del ruido recibido y vertido de los datos a un sistema informático.

2.3.5.1.7. *Circuito rectificador*

La señal, luego de ponderada y analizada mediante filtros de banda, se amplifica para obtener valores eléctricos más fácilmente manejables: se eleva al cuadrado para obtener su valor eficaz.

Se podría realizar la lectura en este punto, pero las variaciones del ruido producen movimientos rapidísimos y por tanto el lector no tiene capacidad para realizar su lectura. Este problema se resuelve mediante la incorporación de un promediador de tiempo de tipo exponencial.

“slow”, resultando una constante de tiempo de 1 segundo. Para niveles de ruidos constantes que mantienen el nivel con fluctuaciones inferiores a 5dB.

“fast”, resultando una constante de tiempo de 125ms. Para niveles de ruido continuo con fluctuaciones superiores a 5dB.

“impulse”, le corresponde una constante de tiempo de 35 ms. Para niveles de ruido de generación rápida se usa en combinación con la ponderación C.

“peak”, le corresponde una constante de tiempo de 50 microsegundos. El nivel se expresa en dB(C).

La sucesión de ruidos de impacto puede llegar a constituir un ruido continuo. No se establece la frecuencia que determina la frontera entre impacto o continuo ya que ello depende del tiempo de reverberación del local o área en la que se produce. Cuando se producen impactos separados un tiempo superior al que tarda la onda reverberante en desaparecer estamos ante una situación de ruidos de impacto, y al contrario se consideraría como ruido continuo.

2.3.5.2. *Metodologías de Muestreo*

El ruido, como agente de riesgo físico, sigue las pautas generales de la Evaluación de la exposición a agentes de riesgo en general estipuladas en el “Manual de Estrategia del Muestreo para la Evaluación de la Exposición Ocupacional” por la NIOSH en el año 1977 y actualizadas por la ACGIH en la última versión de su libro “La estrategia para la Evaluación de la Exposición Ocupacional”.

Los métodos de medida específica para el ruido dependen de los objetivos perseguidos. De hecho, pueden valorarse el riesgo de deterioro auditivo; los tipos de controles técnicos apropiados y su necesidad; la compatibilidad de la “carga de ruido” con el tipo de trabajo a realizar y el nivel de ruido de fondo necesario para no perjudicar la comunicación ni la seguridad.

La norma internacional ISO 2204 (fuera de efecto en la actualidad) especificaba tres tipos de métodos de medida de ruido: a) el método de control, b) el método de ingeniería y c) el método de precisión.

2.3.5.2.1. Método de control:

Este es el método que menos tiempo y equipo necesita. Se miden los niveles de ruido de una zona de trabajo con un sonómetro, utilizando un número limitado de puntos de medida. Aunque no se realiza un análisis detallado del ambiente acústico, es preciso observar los factores temporales, como por ejemplo si el ruido es constante o intermitente y cuánto tiempo están expuestos los trabajadores. Suele utilizarse la red de ponderación A, pero si existe un componente predominante de baja frecuencia puede ser apropiado utilizar la red de ponderación C o la respuesta lineal.

2.3.5.2.2. Método de ingeniería:

Las mediciones del nivel sonoro con este método, ya sean con ponderación A u otros, se complementan con mediciones que utilizan filtros de banda de octava o de tercio de octava. El número de puntos de medición y las gamas de frecuencias se deciden en función de los objetivos de medición. También es preciso registrar factores temporales. Este método es útil para evaluar la interferencia con la comunicación hablada calculando los niveles de interferencia conversacional (SIL, por sus siglas en inglés Speech interference Levels), así como para implantar programas de control técnico del ruido y realizar estimaciones de los efectos auditivos y no auditivos del ruido. Éste método está validado mediante el ISO 9612:2009.

2.3.5.2.3. Método de precisión:

Es necesario en situaciones complejas, en las que se requiere la descripción más minuciosa del problema de ruido. Las mediciones globales del nivel sonoro se complementan con mediciones de banda de octava o tercio de octava y se registran historiales de intervalos de tiempo apropiados en función de la duración y las fluctuaciones del ruido.

Por ejemplo, puede ser necesario medir niveles pico de los impulsos utilizando el dispositivo de “captación de pico” del instrumento, o medir niveles de

infrasonidos o ultrasonidos, lo que requiere capacidades de medición de frecuencias especiales, la dirección del micrófono, etc.

Quienes utilicen el método de precisión deben asegurarse de que el margen dinámico del instrumento es suficiente para evitar sobrecargas al medir impulsos y de que la respuesta en frecuencia es suficientemente amplia si se van a medir infrasonidos o ultrasonidos.

El instrumento debe ser capaz de medir frecuencias de hasta 20 Hz en infrasonidos y de hasta 16 kHz como mínimo en ultrasonidos, con micrófonos que sean suficientemente pequeños.

Si la persona encargada de realizar las mediciones de ruido es inexperta, puede serle de utilidad dar los siguientes pasos de “sentido común”:

- 1) Escuchar las principales características del ruido que se vaya a medir (características temporales, como por ejemplo si es constante, intermitente o impulsivo; características de frecuencia, como las del ruido de banda ancha, tonos predominantes, infrasonidos, ultrasonidos, etc.). Hay que anotar las características más destacadas.
- 2) Elegir los instrumentos más adecuados (tipo de sonómetro, dosímetros, filtros, registrador de cinta, etc).
- 3) Comprobar la calibración y el funcionamiento del instrumento (baterías, datos de calibrado, correcciones del micrófono, etc.).
- 4) Anotar o realizar un esquema (si se utiliza un sistema) de los instrumentos, indicando el modelo y el número de serie.
- 5) Realizar un esquema del entorno de ruido que se vaya a medir, indicando las principales fuentes de ruido y las dimensiones y características importantes del recinto o ambiente exterior.
- 6) Medir el ruido y anotar el nivel medido para cada red de ponderación o para cada banda de frecuencias. Anotar también la respuesta del medidor (“lenta”, “rápida”, “impulso”, etc.), y la incertidumbre del medidor (p. ej., más o menos 2dB).

Actualmente la metodología más utilizada en la rama de la higiene industrial es la del método de ingeniería, establecida en la ISO 9612:2009, Acoustics y traducida al español en Norma Técnica Peruana

2.3.5.3. Criterios de Valoración del Ruido

A la hora de establecer criterios que permitan valorar la mayor o menor nocividad de un ruido, se tropieza con un primer inconveniente: cualquiera que sea el nivel

de ruido que se establezca como límite, existirá un porcentaje de individuos expuestos cuya salud sea dañada.

Esto ocurre por la imposibilidad de ponderar en un estándar o en un solo criterio las variaciones individuales que se presentan en un colectivo.

El punto de partida será determinar a partir de la superación de que parámetro comienza el daño para la salud del individuo; el siguiente paso tiene que establecer alguna forma de relación entre la intensidad de la exposición y el daño producido. Esta relación, lo hemos afirmado anteriormente, no puede establecerse con precisión.

Las características particulares del individuo hacen que no pueda establecerse una separación entre los niveles de ruido que generan daño y los que son inofensivos y, como mucho, sólo podemos aspirar a determinar el porcentaje de personas expuestas que sufran algún daño, en función de la intensidad de la exposición.

Por último, a la hora de establecer un criterio, habrá que definir qué porcentaje de individuos afectados se está dispuesto a admitir. Por tanto, el proceso comienza cuando establecemos el porcentaje de dañados, y a partir de aquí se deducirán los niveles de exposición considerados admisibles. El problema que se plantea a continuación es establecer y cuantificar los criterios de daño; o sea, cuándo debemos considerar que comienzan las manifestaciones patológicas.

El criterio excesivamente genérico de definir el daño como la presencia de dificultades para la comunicación oral, no presenta el rigor ni las posibilidades de cuantificación que requiere un modelo practicable. La mayoría de los organismos encargados de la salud ocupacional establecen sus criterios en base al aumento del umbral de audición a distintas frecuencias.

Resumimos a continuación algunos de estos criterios:

2.3.5.3.1. Criterios de la AAOO

El Subcommittee on Noise de la American Academy of Ophthalmology and Otolaryngology (AAOO) considera disminuida la capacidad auditiva si el promedio de evaluación de los umbrales de audición a 500, 1000 y 2000 Hz supera los 25 dB (referidos al nivel de base audiométrico definido por la norma ANSI 53/1969).

2.3.5.3.2. Criterio NIOSH

El National Institute for occupational Safety and Health (NIOSH), considera más adecuadas las frecuencias de 1000, 2000 y 3000 Hz manteniendo los 25 dB de promedio de elevación del umbral de audición.

En la siguiente tabla se muestran las diferencias entre la normativa NIOSH y OSHA sobre los programas de protección auditiva.

2.3.5.3.3. Criterio Británico

Recomendación BOHS (British Occupational Hygiene Society). Basado en los trabajos de Robinson, que elaboró el concepto de Inmisión sonora como “energía sonora total recibida por un individuo en el transcurso de su vida laboral”, la BOHS publicó un trabajo en el que considera la pérdida auditiva.

Las frecuencias utilizadas son las de 500, 1000, 2000, 3000, 4000 y 6000 Hz, considerándose en 48 dB la elevación del umbral.

Conocidos los criterios audiométricos queda por realizarse el estudio con colectivos de individuos expuestos a ciertos niveles de ruidos y de individuos no expuestos, obviando así la incidencia de los afectados por presbiacusia – sordera debida a la edad y no a la exposición acústica- .

Estos estudios aportan una relación entre niveles de ruido y porcentaje esperado de afectados por sordera profesional; estableciéndose en cada país el porcentaje deseable de individuos dañados, de lo que dependerá el establecimiento del nivel de exposición consiguiente.

2.3.5.3.4. *Energía equivalente y efecto temporal*

La forma en que se produce el daño del sistema auditivo ha dado lugar a dos teorías diferentes que, a su vez, han originado dos grandes tendencias; la europea y la americana.

La corriente europea sustenta su normativa de protección auditiva ocupacional en la Teoría de la Energía Equivalente (criterio ISO), que afirma que el daño sonoro viene determinado por la cantidad de energía acústica recibida por el individuo, al margen de su distribución en el tiempo.

La corriente americana se basa en la teoría del efecto Temporal, que sustenta el criterio de que el daño producido en el oído se relaciona íntimamente con el efecto temporal que se aprecia en el mismo. Esta corriente es la sustentada por el CHABA (Committee on Hearing Bioacustics and Biomechanics), publicado en 1966 y modificado posteriormente por Botsford.

2.3.5.3.5. *Recomendación ISO 1999*

Esta recomendación basada en la teoría de la energía equivalente establece la relación entre el nivel de presión sonora y tiempo de exposición y el porcentaje esperado de personas que sufrirán disminución de su capacidad auditiva.

La base de esta recomendación se encuentra en los estudios experimentales realizados por BAUGHN sobre un colectivo de 6835 individuos, efectuándoles audiometrías monoaurales (oído derecho).

Nivel sonoro continuo equivalente es el nivel sonoro en dB(A) que si estuviese presente durante toda la semana, daría el mismo índice compuesto de exposición al ruido que el correspondiente a los distintos niveles sonoros medios en una semana en una situación real.

Estableciéndose dos criterios para definir la discapacidad. El primero dice que el promedio de los desplazamientos del umbral auditivo en 500Hz, 1000Hz, 2000Hz supere los 25 dB (Glorig, ISO 1999:1975). El segundo criterio señala sólo un desplazamiento de 5dB para el umbral auditivo de 4kHz.

Aplicando la norma ISO 1999 (Estimación de la pérdida auditiva por ruido) se establece un porcentaje de trabajadores, la probabilidad que se espera que alcancen un efecto, pérdidas auditivas y un tamaño superior al del efecto de control, como resultante de la exposición nivel-tiempo, a la que se encuentran los trabajadores.

La norma, desde su aparición en 1975, utilizar un principio similar al de Glorig, con diferencias en los valores. Utiliza un criterio auditivo de 25dB para el promedio del aumento del umbral auditivo en 500Hz, 1000Hz y 2000Hz, y el parámetro considerado como nivel de exposición es el nivel sonoro continuo equivalente con ponderación A referido a la semana laboral de 40 horas.

Asimismo se define riesgo de déficit auditivo como la diferencia entre el porcentaje de personas con déficit auditivo en una población expuesta al ruido y el tanto por ciento de personas con déficit auditivo en una población no expuesta al ruido.

Esta norma ha sido revisada en 1990 y se han corregido una serie de condicionantes que aparecían en la primera edición. Así las condiciones audiométricas de la población de control no expuesta al ruido se han modificado recogiendo ahora la norma dos posibilidades, la primera es una base de datos de una población otológicamente normal según norma ISO 7.029 UNE 74.152, y la segunda posibilidad es la utilización de los datos de cualquier otra población que se considere apropiada y representativa de la población general.

La norma ISO no marca las frecuencias particulares, las combinaciones de frecuencias o las combinaciones ponderadas que deben ser empleadas para evaluar el déficit auditivo. La selección de estos parámetros se deja a discreción de quien los utilice.

Nivel umbral de audición												
Frecuencia Hz	Nivel umbral de audición											
	Edad, años											
	30			40			50			60		
	Fractiles											
	0,9	0,5	0,1	0,9	0,5	0,1	0,9	0,5	0,1	0,9	0,5	0,1
Hombres												
500	-6	1	9	-5	2	11	-4	4	14	-3	6	18
1000	-6	1	9	-5	2	11	-4	4	14	-2	7	19
2000	-7	1	11	-6	3	15	-4	7	21	-1	12	29
3000	-7	2	13	-5	6	19	-2	12	29	3	20	42
4000	-7	2	14	-4	3	23	0	16	37	7	28	55
6000	-8	3	16	-5	9	26	0	18	41	8	32	62
Mujeres												
500	-5	1	9	-5	2	11	-4	4	14	-3	6	18
1000	-6	1	9	-5	2	11	-4	4	14	-2	7	19
2000	-7	1	11	-6	3	15	-3	8	21	0	13	30
3000	-7	1	12	-6	4	17	-3	9	25	1	16	35
4000	-7	2	14	-6	6	21	-2	12	31	2	21	45
6000	-8	3	16	-6	9	25	-2	12	31	2	21	45

Valores medios de niveles umbrales de audición relacionadas con la edad para conciliación de las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz												
Edad	28 años			38 años			48 años			58 años		
Fractiles	0,9	0,5	0,1	0,9	0,5	0,1	0,9	0,5	0,1	0,9	0,5	0,1
Nivel umbral de audición debido a la edad	8	15	21	9	16	23,5	9	17,5	26	10	22	32

Tabla 6

Tabla 4

Esta recomendación, que está recogida como norma UNE 74.023-92, expresa en términos estadísticos la relación existente entre la exposición al ruido y el desplazamiento permanente del umbral de audición inducido por ruido (NIPTS) y facilita métodos de estimación del daño auditivo causado por la exposición al ruido en poblaciones no sujetas a otros daños auditivos que los provocados por el ruido.

Tabla 5

La norma no fija el nivel máximo permitido de exposición al ruido ni las exigencias de protección precisas, las normas nacionales deben delimitar estos parámetros que la norma deja abiertos.

Para el cálculo de los NIPTS la norma considera:

- Los NIPTS son idénticos para hombres y mujeres.
- Los NIPTS se especifican como una distribución estadística.
- Es aplicable a ruido de frecuencia audible.
- Es aplicable a ruidos con presión acústica instantánea hasta 200 Pa.
- El rango de niveles continuos equivalente está entre 75 y 100dBA.
- Es aplicable a periodos de exposición entre 0 y 40 años.
- Está basado en datos de ruido continuo de banda ancha y sin componentes tonales.

Definiciones

H' es el nivel umbral de audición asociado con la edad y el ruido (HTLAN), el umbral permanente de audición en dB de una población. Es una combinación de las componentes relacionadas con el ruido (NIPTS) y con la edad (HTLA). Para conocer H' hay que conocer primero los valores de H y N.

H es el nivel umbral de audición relacionado con la edad (HTLA). Nivel umbral de audición en dB que se observa únicamente asociado a la edad del sujeto, sin influencia alguna de la exposición al ruido.

N es el desplazamiento permanente del umbral inducido por el ruido (NIPTS). El desplazamiento permanente, real o potencial en dB, del umbral de audición que

Niveles umbrales de audición de una población no seleccionada típica de un país industrializado. El cero audiométrico está definido por ISO 389												
Frecuencia Hz	Nivel umbral de audición											
	Edad, años											
	30			40			50			60		
	Fractiles											
	0,9	0,5	0,1	0,9	0,5	0,1	0,9	0,5	0,1	0,9	0,5	0,1
Hombres												
500	-1	7	15	0	8	19	1	10	21	2	12	26
1000	-5	0	10	-4	3	15	-3	5	16	-2	6	21
2000	-4	2	13	-3	4	19	-2	8	28	0	10	43
3000	-1	9	20	2	13	41	5	19	51	9	30	62
4000	-1	10	38	4	17	50	8	26	54	12	36	68
6000	8	18	32	11	24	62	17	31	62	22	46	30
Mujeres												
500	-1	6	15	0	7	19	1	10	23	4	14	29
1000	-6	1	9	-5	2	11	4	4	16	-2	7	21
2000	-6	0	10	-4	2	13	-2	5	23	0	8	29
3000	-4	4	13	-2	6	18	0	9	26	6	16	37
4000	-5	4	16	-4	6	18	-1	9	26	4	17	43
6000	3	12	25	5	15	31	3	20	45	15	29	57

se atribuye exclusivamente a la exposición al ruido, en ausencia de otras causas.

$$H' = H + N - HN/120$$

Para el cálculo del nivel umbral de audición H la norma nos da dos posibilidades: a partir de una población bien seleccionada y no expuesta al ruido.

A partir de la base de datos para una población no seleccionada que se considera representativa de un país industrializado.

La selección de una de las bases se efectúa en función de cuál sea el objetivo que se pretende conseguir.

Para el cálculo del desplazamiento permanente del umbral inducido por el ruido N, dado que son función de la frecuencia audiométrica, del tiempo de exposición y del nivel diario equivalente se obtienen mediante el empleo de una fórmula adecuada y unas tablas que recogen la norma.

La pérdida auditiva potencial probada por la exposición al ruido laboral se obtiene directamente por el valor N de desplazamiento permanente del umbral inducido por el ruido.

El déficit auditivo se calcula utilizando una combinación lineal de los niveles umbrales de audición determinadas frecuencias. En nuestro país la hipoacusia se define por la disminución del umbral de audición en las frecuencias conversacionales de 500, 1000, 2000 Hz, por lo tanto en nuestro caso H' se establecería como promedio de los H' correspondientes a estos valores.

En resumen, según esta norma ISO 1999 para evaluar los efectos nocivos de la exposición al ruido, se calcula el riesgo de déficit auditivo provocado por la exposición al ruido. Para ello preciso:

- Definir un límite umbral de audición por encima del cual se supone existe un déficit auditivo.
- Definir una base de datos para el umbral de audición debido a la edad
- Elegir una fórmula para la combinación lineal de los niveles umbrales de audición.
- Calcular el fractil de la población cuyo nivel umbral de audición promedio es igual o superior al límite umbral de audición elegido. El riesgo de déficit auditivo provocado por la exposición al ruido se obtiene como diferencia entre el fractil cuyo límite umbral de audición promedio es igual o superior al límite umbral de audición y el fractil cuyo nivel umbral de audición debido a la edad es igual o superior al

L í m i t e

		Edad	18	23	28	33	38	43	48	53	58	63
		Años de exposición	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Nivel de exposición [dBA]	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	85	0	1	3	5	6	7	8	9	10	7	
	90	0	4	10	14	16	16	18	20	21	15	
	95	0	7	17	24	28	29	31	32	29	23	
	100	0	12	29	37	42	43	44	44	41	33	
	105	0	18	42	53	58	60	62	61	54	41	
	110	0	26	55	70	76	78	77	72	62	45	
	115	0	36	71	82	86	84	81	75	64	47	

umbral de audición.

Tabla 7

2.3.5.3.6. Criterio ACGIH

Anualmente la ACGIH (American Conference Industrial Hygienists) publica una lista de TLV (Thershold Limits Values); en 1969 contemplo por primera vez los estándares (TLV) correspondientes a ruido.

Posteriormente, en 1975, la ACGIH ha modificado el TLV a partir de un estudio realizado por el NIOSH (National Institute for occupational Safety and Health) sustituyendo la expresión del tiempo máximo de exposición por la siguiente:

$$T = \frac{16}{2^{(L-80)/5}}$$

De donde puede extraerse la tabla de la página siguiente.

La recomendación NIOSH, en la que se apoyó este criterio se fundamentaba en un estudio experimental muy amplio, sobre un colectivo de 400 trabajadores.

En dicho trabajo se estableció que exposiciones continuas de 8 horas/día a niveles de 85 dB (A) suponían una aceptación de riesgo del 10 al 15 por 100. Asumiendo este nivel de riesgo se fijó, por tanto, en 85 dB(A) el límite del ruido continuo.

Valores TLV para el ruido	
Duración por día (horas)	Nivel sonoro dB(A)*
16	80
8	85
4	90
2	95
1	100
1/2	105
1/4	110
1/8	115**

*El nivel sonoro en decibelios se mide con un sonómetro que se ajuste, como mínimo, a los requisitos de la Especificación Estándar Nacional Americana para Sonómetros, S1.4 (1971), tipo 2ª, y que esté regulado para usar la red ponderada A, con respuesta lenta del aparato de medida.

**Ninguna exposición a ruido continuo o intermitente que sobrepase los 115dB(A)

Tabla 8

Cuando la exposición diaria al ruido se compone de dos o más periodos de exposición al ruido a distintos niveles, se debe tomar en consideración el efecto global, en lugar del efecto individual de cada periodo. Si la suma de las fracciones:

$$D = \frac{C1}{T1} + \frac{C2}{T2} + \dots + \frac{Cn}{Tn}$$

Es mayor que la unidad, entonces se debe considerar que la exposición global sobrepasa el valor límite. C1 indica la duración específica de ruido y T1 indica la duración total de la exposición permitida a ese nivel. En los cálculos citados, se usarán todas las exposiciones al ruido en el lugar de trabajo que alcancen o sean superiores a los 80 dB(A).

Ruido de impulso o de impacto

Se recomienda que la exposición al ruido de impulso o impacto no sobrepase los límites señalados en el tabla siguiente:

Valores TLV para el ruido de impulso o de impacto	
Nivel sonoro dB*	Nro de impulsos o impactos permitidos por día
140	100
130	1000
120	10000

*Nivel máximo de presión acústica de decibelios; re 20µPa

Tabla 9

No están permitidas las exposiciones a un nivel máximo de presión acústica que sobrepase los 140 decibelios. Se considera que el ruido de impulso o de impacto son aquellas variaciones de los niveles de ruido que suponen máximos a

intervalos superiores a un segundo. Cuando los intervalos son inferiores a un segundo, el ruido se considera continuo.

2.3.5.3.7. Criterio OSHA

En mayo de 1971 la recomendación ACGIH es recogida en el Federal Register Department of Labor (Ministerio de Trabajo), de EEUU, convirtiéndose en la Norma Legal Americana (Occupational Noise Standard).

La expresión que determina el tiempo máximo de exposición (T) en horas/día, a un nivel de ruido (L), medido en dB(A), es:

$$T = \frac{16}{2^{(L-85)/5}}$$

Cuando el ruido presente es de carácter variable, el límite máximo se recuperará si la expresión siguiente sobrepasa la unidad:

$$D = \frac{C1}{T1} + \frac{C2}{T2} + \dots + \frac{Cn}{Tn}$$

En marzo de 1983, igualmente, en el Federal Register se publica una modificación de la anterior en la que se introduce el concepto de Nivel de Acción o nivel a partir del cual es necesario la adopción de medidas de control o administrativas. Este nivel se establece en 85dB de nivel sonoro promedio ponderado para 8 horas de trabajo al día y medidas en escala A, o lo equivalente, una dosis del 50% (FR 1.910.95, Apéndice I).

De ambas expresiones podemos extraer los mismo límites para diferentes niveles de presión sonora:

Nivel de ruido en dB (A)	Tiempo máximo de exposición (horas/día)
85	16
90	8
95	4
100	2
105	1
110	1/2
115	1/4

Tabla 10

2.3.5.3.8. Comunidad económica Europea, Directiva del Consejo 86/188/CEE

Pasamos a continuación a esquematizar los principales aspectos de la citada directiva.

DIRECTIVA 86/188/CEE

CALCULO DEL NIVEL DE EXPOSICION DIARIA

$$N_{exp,d} = 10 \lg \left[\frac{1}{T_e} \int_0^{T_e} \left[\frac{Pa(T)}{P_0} \right]^2 dt \right] + 10 \lg \frac{T_e}{T_0}$$

T_e = duración diaria de la exposición.
 T_0 = Ocho horas.
 P_0 = 20 micropascales.
 P_a = Presión acústica instantánea ponderada a la escala A, en Pascales.

CALCULO DEL NIVEL DE EXPOSICION SEMANAL

$$N_{exp,s} = 10 \lg \left[\frac{1}{5} \sum_{k=1}^m 10^{0,1 (N_{exp,d}k)} \right]$$

($N_{exp,d}$) k : valores de los niveles de exposición diaria para cada uno de los m días de trabajo de la semana considerada.

DIRECTIVA 86/188/CEE. LIMITES Y ACCIONES PREVENTIVAS

	Exposición diaria equivalente	
	Superior a 85 dBA	Superior a 90 dBA
EL EMPRESARIO DEBE:		
Informar a los trabajadores sobre los riesgos para la audición y los medios de protección	X	X
Permitir el acceso de los trabajadores a los resultados de los evaluaciones de la exposición al ruido	X	X
Suministrar los protectores personales a los trabajadores que lo soliciten	X	X
Establecer la obligación de utilizar protectores personales		X
Señalizar los lugares con riesgo y establecer limitaciones de acceso a los mismos		X
Elaborar y ejecutar un plan de reducción de la exposición al ruido		X
Proporcionar una vigilancia médica de la función auditiva de los trabajadores	X	X

Tabla 11

2.3.5.3.9. Niveles Permisibles según la ACGIH

La American Conference of Governmental Industrial Hygienists establece en su lista para 1990-91 los siguientes valores TLV:

- Radiación sónica aérea de alta frecuencia y
- Radiación acústica ultrasónica.

Los valores TLV se refieren a los niveles de presión acústica que representan las condiciones en que se cree que casi todos los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente sin efectos adversos. Estos valores no deben ser considerados, debido a la susceptibilidad individual, como límites definidos de separación entre los niveles seguros y peligrosos. Los niveles correspondientes a las bandas de un tercio de octava centrada por debajo de los 20 kHz son inferiores a los que causan efectos subjetivos. Los límites por bandas de un tercio de octava por encima de 20 kHz tienen por objetivos prevenir las pérdidas de audición causadas por los subarmónicos de estas frecuencias.

En algunas personas sensibles pueden darse molestias subjetivas a niveles entre 75 y 105 dB a 20 kHz de la banda de 1/3 octava, necesitando protección auditiva o control de ruido para eliminar las molestias.

Niveles permisibles de exposición a la radiación sónica aérea de alta frecuencias y radiación acústica ultrasónica.	
Frecuencia central de la banda de un tercio de octava kHz	Nivel de la banda de un tercio de octava expresado en dB re 20µPa
10	80
12,5	80
16	80
20	105
25	110
31,5	115
40	115
50	115

Tabla 12

El ruido produce otros efectos incluidos dentro del llamado trauma sonoro – carga y fatiga mental, estrés, producción de errores, etc. –, que ya aparecen a niveles muy inferiores a aquellos con capacidad de producir daños auditivos y cuya política preventiva queda incluida en la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Los daños se derivan de la contaminación acústica, exceptuando la que pueda producirse en los lugares de trabajo. Por ello se pueden seguir los siguientes criterios de referencia:

- Valor inferior de la exposición que da lugar a una acción:
LAeq,d=80dB(A) y Lpico=135dB(C)
- Valor superior de la exposición que da lugar a una acción:
LAeq,d=85dB(A) y Lpico=137dB(C)
- Valor límite de la exposición:
LAeq,d=87dB(A) y Lpico=140dB(C)

Se resalta que:

Es importante el descenso en los valores establecidos como criterios de evaluación.

Tomando como referencia el valor en el que establece la obligatoriedad del empresario para establecer y ejecutar un programa de medidas técnicas y/o de organización éste desciende en 5dB, lo que significa en términos de energía acústica un factor reductor de 0,316, una muy importante reducción.

Los niveles de pico se establecen con ponderación de la curva C, cuyos datos de ponderación se especifican en este tema más adelante.

Se implanta un valor límite que no se puede superar: en su evaluación se ha de considerar la atenuación producida por los protectores auditivos utilizados y la incertidumbre que estos EPI introducen en la representatividad de los resultados. Cuando se supera la exposición límite se establece la obligatoriedad del empleador en cuanto a la determinación de las causas por las que se supera dicho límite, de las actuaciones a ejecutar y de la información sobre el suceso que debe ofrecer.

En cuanto a los valores que dan lugar a una acción no se consideran las atenuaciones que pudieran procurar los protectores auditivos utilizados.

Cuando se superen los valores superiores que dan lugar a una acción el empleador establecerá y ejecutará las medidas técnicas y de organización integradas en la planificación preventiva tendentes al control de los riesgos, incluso la señalización y la posible limitación de accesos a las áreas ruidosas.

2.3.6. REPRESENTATIVIDAD DE LOS RESULTADOS

2.3.6.1. Cálculo del nivel equivalente diario inferior y superior

Dado que la estrategia para la ejecución de determinaciones debe permitir un resultado con un nivel de confianza de certeza técnica, se incluyen dentro de las desviaciones para los límites inferiores y superiores, las incertidumbres propias del muestreo así como las del equipo utilizado.

Precisión en sonómetros	Clase 0	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Dentro del margen de medida de los equipos	±0,4	±0,7	±1,0	±1,5

Tabla 13

Con ayuda del test Kolmogorov-Smirnofk; si tienes n determinaciones de un mismo grupo de exposición similar, se toma por sentado que siguen una distribución normal; haciendo que la media aritmética sea su valor más representativo.

N	$\tau(n)$	$\tau(n)/\sqrt{n}$	N	$\tau(n)$	$\tau(n)/\sqrt{n}$	N	$\tau(n)$	$\tau(n)/\sqrt{n}$
2	12,7	8,980	8	2,36	0,834	14	2,16	0,577
3	4,3	2,483	9	2,31	0,770	15	2,14	0,553
4	3,18	1,590	10	2,26	0,715	16	2,13	0,533
5	2,77	1,239	11	2,23	0,672	17	2,12	0,514
6	2,57	1,049	12	2,20	0,635	18	2,11	0,497
7	2,45	0,926	13	2,18	0,605	19	2,10	0,482
Valores para un valor de confianza del 95%						20	2,09	0,467

Tabla 14

$$Leq,d,m = \frac{\sum_i^n Leq,d,i}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^n (Leq,d,i - Leq,d,m)^2}{n - 1}}$$

$$\Delta = \frac{\tau n \times \sigma}{\sqrt{n}}$$

2.3.6.2. Muestra representativa:

La estrategia ideal para definir el perfil de exposiciones de un agente ambiental es monitorear cada día de la exposición del trabajador. Generalmente este procedimiento no es posible, por lo tanto se escoge un grupo de trabajadores y días específicos para el monitoreo y se usan los resultados para estimar el perfil de la exposición. De hecho, el número de mediciones necesario depende de una variedad de factores que incluyen el objetivo del monitoreo y el perfil de exposición de un GES.

En la presente investigación se han tomado en cuenta dos criterios basados en la literatura técnico-científica de la disciplina de Higiene Industrial.

- a) Criterio AIHA (American Industrial Hygiene Association). La teoría de muestreo estadístico revela que hay un punto de retorno (esto significa que se necesita cierto número de mediciones para estimar la exposición con aceptable incertidumbre). Bajo estas condiciones se alcanza un estado estacionario cuando se toman un mínimo entre 06 y 10 mediciones para cada GES. Referencia: Libro, la estrategia para la Evaluación de la Exposición ocupacional. AIHA 201 American Industrial Hygiene Association.
- b) Criterio NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). Según este criterio para evaluar la exposición de un grupo de riesgo a exposición a agentes químicos, que está compuesto por N trabajadores es necesario que se tome una muestra “n” para poder estimar estadísticamente, el nivel de Exposición en base a los resultados de las mediciones. Para determinar el número de muestra (n), con 90% de confianza que por lo menos un trabajador del 10% más expuesto del grupo estará considerado en la muestra, el número de muestra será tomado según tabla:

Tamaño del G.E.S.	Muestras requeridas
8	7
9	8
10	9
11-12	10
13 - 14	11
15 - 17	12
18-20	13
21 - 24	14
25 - 29	15
30 - 37	16
38 - 49	17
50	18

Tabla 15

Las muestras a tomar de un GES, deben ser distribuidas a lo largo de un programa de monitoreo, esto para considerar diferentes condiciones de trabajo, así como condiciones ambientales diferentes.

Las muestras a medir deben ser distribuidas con un método aleatorio simple, de modo que todos los días del año tengan la misma probabilidad de elección, de igual manera todos los trabajadores de cada GES tendrán la misma probabilidad de ser elegidos. La técnica de selección al azar de trabajadores sigue los siguientes pasos:

Paso 1 Determinación del número de empleados a muestrear: Al menos un individuo del grupo de exposición del percentil 90 o mayor está contenido en la muestra. Solo hay un 10% de probabilidad de que ningún trabajador del percentil 90 o mayor esté en la muestra.

Paso 2 Muestreo aleatorio de trabajadores:

1. Asignar un número entero consecutivo empezando desde el 1 a cada individuo en el G.E.S.
2. En la tabla "un millón de dígitos al azar", seleccionar una columna y a medida que vaya bajando en la columna, seleccionar los números que son menores o iguales al numero de personas en el G.E.S.; seleccionar tantos números como el paso 1 determine.

ROW	1	5	10	15	20	25																																											
COLUMN 1	05 17 23 08 26 23 08 08 18 07 12 40 22 80 18 73 28 01 06 14 02 42 45 02 88 38 02 76 25 63	17 78 18 08 08 07 12 40 22 80 18 73 28 01 06 14 02 42 45 02 88 38 02 76 25 63	23 71 15 08 07 04 07 29 01 43 48 37 08 02 71 05 78 21 47 15 78 01 04 07 06 00 24	42 07 00 41 07 04 28 71 43 48 37 08 02 71 05 78 21 47 15 78 01 04 07 06 00 24	05 05 03 04 32 02 83 27 48 37 08 02 71 05 78 21 47 15 78 01 04 07 06 00 24	00 40 18 41 23 74 73 31 72 30 40 32 05 41 20 88 40 06 27 38 01 33 03 07 04	32 00 09 70 01 08 00 40 04 40 29 00 00 20 09 01 30 71 75 03 00 00 02 01 24	78 08 22 77 78 00 32 37 48 02 71 05 78 21 47 15 78 01 04 07 06 00 24	45 12 23 32 01 09 44 26 43 40 37 08 02 71 05 78 21 47 15 78 01 04 07 06 00 24	20 00 07 48 21 41 04 22 72 77 00 01 03 30 48 18 00 28 31 73 04 34 09 40 00	07 01 44 03 43 25 26 32 28 01 00 27 36 18 46 74 32 32 05 07 28 00 01 00	00 32 36 02 00 55 08 43 37 08 02 71 05 78 21 47 15 78 01 04 07 06 00 24	06 70 38 28 23 34 18 00 18 01 01 00 71 55 00 24 00 31 41 00 73 13 00 02	50 11 50 28 17 72 07 04 29 29 22 71 11 42 00 15 10 12 38 09 11 00 00 00	21 04 33 07 02 32 04 48 73 00 37 33 37 08 01 00 00 07 03 07 07 00 30 37 05	11 48 07 78 00 37 40 29 10 34 38 03 31 18 07 01 32 39 78 18 00 00 10 01 01	03 07 31 72 40 27 24 24 36 01 03 07 24 31 11 44 28 38 09 07 03 21 23 27 01	00 00 07 42 27 11 00 31 13 01 42 01 14 51 22 15 48 07 32 00 40 24 00 03	74 76 04 21 48 04 51 00 00 03 43 76 35 01 30 11 00 00 32 43 08 14 78 03 24	04 07 48 07 11 04 00 45 03 34 43 00 21 74 04 13 08 41 00 06 20 04 18 00 73	18 18 04 02 71 23 46 33 18 01 03 17 00 04 24 31 75 36 14 03 04 22 76 00 00	30 47 28 24 00 28 08 78 47 23 40 03 38 78 05 07 44 01 00 01 03 76 00 24	45 02 31 04 70 70 73 27 03 37 15 04 48 37 34 34 42 33 40 03 03 02 76 78 07	17 08 07 12 27 01 07 01 72 04 03 42 00 48 07 71 28 34 40 31 00 01 39 74	09 27 22 23 46 18 75 03 02 04 44 03 48 23 05 71 08 20 00 12 16 30 01 76 01	03 07 21 34 00 42 32 33 14 00 24 70 25 18 21 23 34 24 03 06 11 00 40 13 23	17 04 18 27 01 02 28 18 78 25 00 77 08 28 17 27 15 52 47 18 21 22 17 74	37 07 47 78 00 72 74 15 21 43 25 03 27 48 37 08 01 00 00 52 40 00 45 12 12 00 05 37	72 48 71 11 72 47 14 00 37 34 23 23 20 04 30 02 03 07 08 30 28 04 74 00 34	10 22 48 41 72 34 14 24 47 07 04 37 32 04 02 04 07 13 00 00 28 00 46 78	04 24 00 01 78 29 34 25 33 02 12 00 00 38 20 03 04 32 28 00 02 03 75 50 17	01 00 73 18 21 01 46 11 04 03 49 78 24 04 11 41 3 33 31 24 77 00 04 23 07	5 42 04 24 00 01 30 28 46 11 00 40 34 30 45 08 03 71 00 18 29 05 22 56	34 78 02 05 00 29 07 27 04 03 07 23 20 04 30 02 03 07 08 30 28 04 74 00 34	33 72 00 31 00 30 36 15 04 34 28 38 18 03 12 01 36 03 34 14 03 37 74 07 08	18 00 37 45 42 05 05 03 16 35 25 27 01 78 24 07 78 00 20 24 20 21 12 02 28	12 18 12 00 32 07 09 32 03 03 46 17 00 07 27 00 08 78 18 23 04 04 04 07	27 21 18 18 48 37 57 71 40 42 06 25 35 20 05 57 25 25 73 05 30 45 42 37 17	07 04 03 07 00 08 76 08 17 03 38 27 04 23 45 39 47 57 01 07 18 28 43 07 00	08 02 04 30 43 28 27 31 04 32 28 34 00 07 04 35 01 00 09 32 74 54 16 52 03	28 05 01 42 45 05 12 27 28 03 00 05 24 08 46 03 01 55 38 42 51 31 47 37 38	01 00 78 02 47 41 38 34 33 35 05 00 25 72 05 23 23 30 70 31 38 00 28 00 01	04 02 20 01 31 27 57 05 00 07 26 13 07 22 05 72 05 5 75 25 38 38 34 37 37	08 01 12 15 00 02 18 74 08 79 21 53 03 41 77 15 07 38 07 11 18 25 42 18 38	28 33 77 00 28 09 23 08 42 28 27 13 40 07 24 29 34 75 04 06 19 34 31 16 50	54 15 35 18 28 04 07 73 71 41 74 00 26 32 03 40 08 75 74 28 08 08 04 38 25	73 18 03 04 04 03 03 08 08 18 15 01 37 04 46 17 78 12 12 47 17 02 02 13 08	38 47 17 08 78 02 02 05 18 42 05 44 37 37 00 00 01 04 04 73 05 00 42 31 17	29 01 08 21 01 23 74 72 04 34 25 22 04 34 06 00 95 14 82 57 17 59 16 28 08

Tabla 16

*Reproduced from Table A-26 of Natrella (2011), with permission of the Rand Corporation, "A Million Random Digits," The Free Press, 1959.

3. CAPÍTULO III - EVALUACIÓN DE LA EXPOSICION

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. TIPO, NIVEL Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Unidad de análisis

Trabajadores expuestos a ruido ocupacional en una mina subterránea del centro del país.

Nivel de investigación

Investigación aplicada: Permitirá estrategia de prevención y planeamiento en la prevención de hipoacusia.

Transversal: Registro de una muestra en el periodo de un año

Prospectiva: Datos han sido registrados exclusivamente para el estudio.

Protocolo de investigación

Observacional: Sin intervención de los operarios.

Descriptiva: Características cuantitativas de la exposición al ruido.

Explicativa: Busca de orígenes o causas.

Periodo de análisis

Registros de información en el año 2013

Fuente de Información

Fuente primaria e información, registros de las mediciones de ruido realizadas por el área de Higiene Industrial de una mina subterránea al centro del país.

Instrumentos técnicos de recolección de datos

Los medidores de ruido o “sonómetros” están compuesto básicamente por un micrófono, pre-amplificador, red de ponderación y respuesta dinámica, al igual que en un sonómetro. Un reloj interno que mantiene un registro del tiempo de muestreo, así como el tiempo que el dosímetro podría ser puesto en pausa. Para el presente estudio se emplearon sonómetros/dosímetros de ruido puntual de ruido de la marca SVANTEK, todos ellos calibrados y certificados. Además, una calculadora interna, que calcula la exposición al ruido en base a los niveles de criterios, tasa de intercambio y nivel umbral que están establecidos internamente en el instrumento. Se dispone de una pantalla de visualización de datos y se pueden bajar los datos a un computador o impresora para un análisis posterior al levantamiento.

Métodos de procesamiento de data

No se utilizaron los software convencionales de r-project o lognorm2 sino metodologías encontradas en bibliografías como el Libro Higiene Industrial –

Manual para la formación del especialista de Faustino Menéndez Díez y las tablas estadísticas de Pedro Diaz B.

3.1.2. POBLACIÓN, MUESTRA Y METODOLOGÍA DE MUESTREO

Población: Todos los trabajadores expuestos a ruido ocupacional en una mina subterránea al centro del país, en un periodo de un año.

Muestra: Se han tomado como muestra tomados 347 sonometrías a diversas actividades durante la explotación de una mina subterránea a lo largo 39 días al azar del año 2013.

3.1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Delimitación geográfica:

La investigación se limita al estudio de la exposición a ruido de los trabajadores de una mina subterránea polimetálica en la región Cerro de Pasco, ubicada a una altitud aproximada de 4500 m.s.n.m. No tomándose en consideración la variación de presión como factor determinante en la valoración del riesgo de exposición al ruido.

Delimitación de personal:

Se ha considerado el estudio de la exposición a ruido, solo a personal operativo de la mina con riesgo de exposición a ruido y que comparten un mismo ambiente de trabajo. no se ha considerado para el presente estudio a personal administrativo. solo se ha considerado el proceso de explotación mas no los de mantenimiento ni planta concentradora.

Delimitación de tiempo:

Se ha considerado un periodo de estudio de un año 2013.

3.1.4. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio otorga igual oportunidad a los trabajadores para que se les represente mediante sus actividades. Las actividades se encuentran interrelacionadas entre si por locación y desarrollo; haciendo que los empleados compartan el mismo riesgo en determinados momentos.

Debido a la aleatoriedad de la toma de mediciones en el tiempo, el estudio se diseño para que las mediciones de ruido a los trabajadores se efectuaran tal que estén incluidas las cuatros estaciones del año y sus cambios de humedad.

3.1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

- La investigación está diseñada solo para evaluar los resultados de las mediciones locativas de ruido en el lugar donde una cierta actividad se viene realizando y la intensidad del ruido viene determinada por el conjunto de las diversas fuentes. No considera una interpretación por mediciones personales.

- La investigación no ha tomado en cuenta el nivel de profundidad de las actividades y su relación con la resonancia de probable aumento o disminución.
- La investigación no ha tomado en cuenta la expansión de proyectos en alrededores de la mina subterránea.
- La investigación se enfoca en estudiar resultados del $Leq(A)$, nivel de presión sonora continuo equivalente en el tiempo, no considera el estudio de otras redes de ponderación (B o C) en el periodo de medición.

3.1.6. INSTRUMENTOS PARA EL REGISTRO DE DATOS

Medidor y Analizador Digital de Nivel de Sonido:

Estándar: Tipo 2 IEC 61672-1:2002

Modelo SVAN 953

Marca: Svantek

Micrófono: 7052, sensibilidad nominal 20mV/Pa. Micrófono prepolarizado de ½" con preamplificador SV 12 IEPE

Descripción: Equipo para mediciones acústicas en general, monitoreo ambiental del ruido y monitoreo de seguridad y salud ocupacional. SVAN 953 utiliza 3 redes de ponderación independientes de forma simultánea (A, C y Z). Cada una de ellas provee un número de resultados que incluyen Leq , $LMAx$, $Lmin$, $Lpeak$, Spl , y SEL . El modelo SVAN 953 puede ser utilizado como dosímetro de ruido cuando se conecta con el micrófono tipo SV25_2



Figura 30, del Manual del Usuario Calibrador acústico de Sonido: Un calibrador acústico

3.1.7. *METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE RUIDO*

Antes de realizar una medición por sonometría, el personal a cargo debe realizar un chequeo de verificación para comprobar el buen funcionamiento del equipos a utilizar; la carga de las baterías, los formatos de campo y cámara fotográfica; así como tener el claro la ruta de monitoreo que incluye tener registro de los responsables de las áreas a monitorear, el personal que se encontrará en campo y si las actividades se desarrollarán de forma rutinaria.

El equipo debe ser calibrado y programado con el criterio adecuado; antes de acercarse a las zonas de riesgo en donde se desarrollan las actividades; en caso de la marca Svantek la programación se hace directamente en el equipo o con Software de la marca.

Para un mejor uso del equipo, refiérase al punto 2.2.5. de la presente tesis, en donde encontrará el marco normativo específico para la preparación de equipos antes, durante y después del monitoreo en actividades mineras.

3.2. *RESULTADOS*

3.2.1. *GRUPOS DE EXPOSICIÓN SIMILAR*

En campo se estimó cualitativamente que la exposición dentro de un espacio dado donde se desarrolle una actividad será igual en todos los trabajadores que se encuentren alrededor de la zona de trabajo; por ello se ha estudiado cada subproceso, actividad y puesto de trabajo con la misma data obtenida en el punto de sonometría.

Dentro del proceso de explotación en mina subterránea, se identificaron 9 subprocesos:

- | | | |
|---------------------------|------------------|-----------------|
| - Desatado de rocas | - Limpieza | - Sostenimiento |
| - Extracción y transporte | - Perforación | - Ventilación |
| | - Riego | - Voladura |
| | - Servicios Mina | |

Dentro del proceso de explotación en mina subterránea, se identificaron 18 subprocesos:

- | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| - Limpieza con Scoop eléctrico | - Perforación con jackleg | - Voladura |
| - Ventilación por una línea tercera | - Sostenimiento con perno y malla | - Sostenimiento con cuadro de madera |
| - Limpieza con pala neumática | - Perforación con jumbo | - Limpieza con winche |
| - Ventilación con manga | - Perforación con simba | - Servicios mina |
| - Extracción por chimenea | - Limpieza con lampa y pico | - Regado de carga |
| - Perforación con raptor | - Limpieza con scoop diesel | - Transporte con locomotora. |

Dentro del proceso de explotación en mina subterránea, se identificaron 9 puestos de trabajo:

- Operador de Scoop
- Operador de Equipo pesado
- Operador de Jumbo
- Perforista
- Servidor General
- Supervisor
- Operador de Raptor
- Operador de Simba
- Jefe de guardia

3.2.2. CÁLCULO DEL PERFIL DE EXPOSICIÓN

El límite superior de confianza (LSC) se considera como el valor que caracteriza el perfil de exposición del Grupo de Exposición Similar o de la actividad como una medida preventiva en la que el valor más alto resultado de tener en cuenta todas las incertidumbres es el valor que se compara con el nivel criterio de exposición.

La definición técnica del LSC es el límite superior estimado para la media, la estimación del intervalo da una indicación de cuanta incertidumbre existe en nuestra estimación de la media verdadera (Hewtt, 2001).

En el presente estudio se considera una confianza del 95%.

El L.S.C. es un valor estadístico de la media de una distribución, el cual nos indica, con una confianza elegida del 95%, que los niveles de exposición al ruido en un G.E.S.; procesos o actividad no serán superiores a este valor.

El presente estudio toma en consideración que todas las muestras son representativas; que siguen una distribución normal y que las únicas incertidumbres provienen del equipo de muestreo y por el número de muestras; haciendo que la media aritmética sea su valor más representativo.

3.2.3. CÁLCULO del L.s.c. TEST KOLMOGOROV-SMIRNOFK

Exposición: Sean $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ las mediciones de la muestra seleccionadas aleatoriamente para un G.E.S.; sub-proceso o actividad.

PASO 1: Calcular la desviación del equipo en base a la tabla de precisión de sonómetros de clase 2.

Precisión en sonómetros (PS)	Clase 0	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Dentro del margen de medida de los equipos	±0,4	±0,7	±1,0	±1,5

PASO 2: Calcular las primeras desviaciones por precisión de sonómetros restando y sumando al TWA calculado en el tiempo t medido.

$$TWA_{\text{min}} = TWA_{\text{calculado}} - 1$$

$$TWA_{max} = TWA \text{ calculado} + 1$$

PASO 3: Calcular el Nivel equivalente diario mínimo y máximo en base a un tiempo de referencia de 8 horas.

$$Leq_{d, \min} = (TWA \text{ calculado} - 1) + 10 \cdot \log(t/8)$$

$$Leq_{d, \max} = (TWA \text{ calculado} + 1) + 10 \cdot \log(t/8)$$

PASO 4: Calcular el nivel equivalente diario medio para el total de las determinaciones del $Leq_{d, \min}$ y de $Leq_{d, \max}$.

$$Leq_{d, m \text{ minimo}} = \frac{\sum_i^n Leq_{d, \min, i}}{n}$$

$$Leq_{d, m \text{ máximo}} = \frac{\sum_i^n Leq_{d, \max, i}}{n}$$

PASO 5: Calcular la variación estándar para el total de las determinaciones del $Leq_{d, \min}$ y de $Leq_{d, \max}$.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^n (Leq_{d, i} - Leq_{d, m})^2}{n - 1}}$$

PASO 6: Calcular la diferencia para el total de las determinaciones del $Leq_{d, \min}$ y de $Leq_{d, \max}$ haciendo uso del test Kolmogorov-Smirnofk

$$\Delta = \frac{\tau n \times \sigma}{\sqrt{n}}$$

N	$\tau(n)$	$\tau(n)/\sqrt{n}$	N	$\tau(n)$	$\tau(n)/\sqrt{n}$	N	$\tau(n)$	$\tau(n)/\sqrt{n}$
2	12,7	8,980	8	2,36	0,834	14	2,16	0,577
3	4,3	2,483	9	2,31	0,770	15	2,14	0,553
4	3,18	1,590	10	2,26	0,715	16	2,13	0,533
5	2,77	1,239	11	2,23	0,672	17	2,12	0,514
6	2,57	1,049	12	2,20	0,635	18	2,11	0,497
7	2,45	0,926	13	2,18	0,605	19	2,10	0,482
Valores para un valor de confianza del 95%						20	2,09	0,467

PASO 7: Calcular los límites inferior y superior para cada Nivel de ruido equivalente diario.

Límite inferior = $Leqdm$ mínimo -

Límite superior = $Leqdm$ máximo +

3.3. RESULTADOS

PERFILES DE EXPOSICIÓN AL RUIDO POR ACTIVIDADES

El perfil de exposición al ruido para cada SUBPROCESO, PUESTO o ACTIVIDAD es un ÚNICO valor que representará a todas las mediciones de ruido de un G.E.S. El perfil de exposición, representará también el Nivel de Riesgo por exposición a ruido del grupo G.E.S., en cualquier condición operativa y en cualquier periodo de tiempo de medición.

Para calcular el perfil de exposición de cada grupo, se utiliza el Límite Superior de Confianza (L.S.C.), entendido como el nivel promedio máximo de ruido que puede llegar a recibir el trabajador del G.E.S. en estudio, establecidos como indicadores de esta caracterización. El análisis global para los 9 grupos (G.E.S) estudiados, se describe que:

1.- El proceso explotación subterránea, que engloba 9 subprocesos, resultó en un perfil de exposición y un nivel de riesgo INACEPTABLE, alcanzando los 99,83dB(A).

2.- 03 grupos G.E.S. que engloban 10 actividades dentro de los 3 subprocesos observados, resultaron en un Perfil de exposición y un nivel de riesgo INACEPTABLE, superando los 92,17dB(A).

3.- 01 grupo G.E.S. que engloba 5 actividades dentro del subproceso observado, resultó en un Perfil de exposición y un nivel de riesgo INCIERTO DENTRO DE LOS LÍMITES DE ACCIÓN, superando los 81,53dB(A).

4.- 5 grupos G.E.S. que engloban 8 actividades dentro de los 5 subprocesos observados, resultaron en un Perfil de exposición y un nivel de riesgo ACEPTABLE, menor que 77,47dB(A).

5.- 11 actividades dentro de las 18 estudiadas dentro del proceso explotación y subprocesos, representan un riesgo INACEPTABLE, mayor que 88,22dB(A).

UNIDAD	PROCESO	SUBPROCESOS	Valores			
			Tiempo Promedio (Horas)	DOSIS DE RUIDO (%)	Leqd (L.S.C.)	# Muestras
MINA	EXTRACCIÓN	VENTILACIÓN	5.45	3727%	100.66	6
		PERFORACIÓN	85.20	996%	94.95	92
		SOSTENIMIENTO	39.84	524%	92.17	44
		LIMPIEZA	57.18	45%	81.53	69
		VOLADURA	11.35	18%	77.47	19
		SERVICIOS MINA	7.54	7%	73.49	7
		RIEGO	1.92	5%	71.95	8
		DESATADO DE ROCAS	16.48	3%	69.21	25
		EXTRACCIÓN Y TRANSPORTE	1.50	2%	66.93	3
TOTAL PROCESO EXPLOTACION			226.46	307675%	99.83	273

UNIDAD	PROCESO	PUESTOS DE TRABAJO	Valores			
			Tiempo Promedio (Horas)	DOSIS DE RUIDO (%)	Leqd (L.S.C.)	# Muestras
MINA	EXTRACCIÓN	OPERADOR DE SCOOP	18.27	198740%	117.87	3
		SUPERVISOR	14.73	136688%	116.25	2
		OPERADOR DE JUMBO	40.22	12595%	105.93	6
		SERVIDOR GENERAL	84.77	6595%	103.13	12
		PERFORISTA	236.59	3470%	100.35	34
		OPERADOR DE RAPTOR	7.16	1330%	96.20	1
		JEFE DE GUARDIA	7.16	1327%	96.19	1
		OPERADOR DE SIMBA	6.01	485%	91.83	1
		OPERADOR DE EQUIPO PESADO	5.37	118%	85.71	1
TOTAL EN PUESTOS			420.28			61

UNIDAD	PROCESO	ACTIVIDADES	Valores			
			Tiempo Promedio (Horas)	DOSIS DE RUIDO (%)	Leqd (L.S.C.)	# Muestras
MINA	EXTRACCIÓN	LIMPIEZA CON SCOOP ELÉCTRICO	2.05	79699752325%	173.71	2
		VENTILACION POR LINEA TERCERA	2.04	8450017%	134.10	2
		LIMPIEZA CON PALA NEUMÁTICA	6.20	147177%	116.57	4
		VENTILACION CON MANGA	3.41	139883%	116.35	4
		EXTRACCIÓN POR CHIMENEA	0.98	2337%	98.64	2
		PERFORACIÓN CON RAPTOR	6.36	1660%	97.16	7
		PERFORACIÓN CON JACKLEG	61.47	1374%	96.34	65
		SOSTENIMIENTO CON PERNO Y MALLA	29.58	679%	93.29	34
		PERFORACIÓN CON JUMBO	11.64	545%	92.34	12
		PERFORACIÓN CON SIMBA	5.73	412%	91.13	8
		LIMPIEZA CON LAMPA Y PICO	2.75	210%	88.22	3
		LIMPIEZA CON SCOOP DIESEL	22.29	47%	81.70	20
		VOLADURA	11.35	18%	77.47	19
		SOSTENIMIENTO CON CUADRO DE MADERA	10.27	16%	77.03	10
		LIMPIEZA CON WINCHE	23.89	13%	76.26	40
		SERVICIOS MINA	7.54	7%	73.49	7
		RÉGADO DE CARGA	1.92	5%	71.95	8
		TRANSPORTE CON LOCOMOTORA	0.17	0%	56.52	1
TOTAL EN ACTIVIDADES			209.64			248

4. CAPÍTULO IV - HIPÓTESIS Y CONCLUSIONES DE LA TESIS

4.1. CONCLUSIONES:

Acerca de los perfiles de exposición al ruido de cada G.E.S., a través de los límites superiores de confianza LSC de la medida de ruido, se ha demostrado que más del %73 de las actividades, de entre los grupos de exposición estudiados, reciben niveles de ruido altos, pudiendo recibir niveles críticos el 58% del tiempo de trabajo; constituyendo esto un peligro evidente de desarrollar hipoacusia inducida por ruido para los operadores de una mina subterránea.

Acerca de los factores estudiados como influyentes en el nivel de ruido recibido, el análisis estadístico descriptivo ha demostrado que los sub-procesos y actividades, determinan variaciones en el nivel de ruido recibido por los operadores. Estos resultados comprueban que tales factores deben ser analizados e incluidos prioritariamente en el Programa de Protección auditiva.

Específicamente, tanto en el análisis descriptivo como en el análisis cuantitativo, se obtuvieron los siguientes resultados:

1.- Dentro del proceso de explotación en mina subterránea, se identificaron 9 sub-procesos:

- | | | |
|---------------------------|------------------|---------------|
| - Desatado de rocas | - Perforación | - Ventilación |
| - Extracción y transporte | - Riego | - Voladura |
| - Limpieza | - Servicios Mina | |
| | - Sostenimiento | |

De los 9 sub-procesos; la Perforación es la de mayor riesgo entre todos seguida del Sostenimiento; considerándose como RIESGOS INACEPTABLES.

Se consideran como RIESGO INDETERMINADO al sub-proceso de Ventilación.

2.- Dentro del proceso de explotación en mina subterránea, se identificaron 18 actividades:

- | | | |
|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| - Voladura | - Servicios mina | - Limpieza con Scoop eléctrico |
| - Ventilación por línea tercera | - Regado de carga | - Limpieza con Scoop diesel |
| - Ventilación con manga | - Perforación con Simba | - Limpieza con pala neumática |
| - Transporte con locomotora | - Perforación con Raptor | - Limpieza con lampa y pico |
| - Sostenimiento con perno y malla | - Perforación con Jumbo | - Extracción por chimenea |
| - Sostenimiento con cuadro de madera | - Perforación con JackLeg | |
| | - Limpieza con winche | |

De las 18 actividades; la Perforación con JackLeg, actividad que se encuentra dentro del Sub-Proceso de Perforación, es la de mayor riesgo entre todas

seguida del Sostenimiento con perno y malla y la Perforación con Jumbo, considerándose como RIESGOS INACEPTABLES.

Se consideran como RIESGO INDETERMINADO a las actividades de ventilación por línea tercera y por mangas; perforación con Simba y Raptor; limpieza con scoop eléctrico, pala neumática y con lampa y pico; y la extracción por chimenea.

3.- Dentro del proceso de explotación en mina subterránea, se identificaron 9 puestos de trabajo:

- | | | |
|-----------------------------|----------------------|---------------------|
| - Operador de Scoop | - Perforista | - Operador de Simba |
| - Operador de Equipo pesado | - Servidor General | - Jefe de guardia |
| - Operador de Jumbo | - Supervisor | |
| | - Operador de Raptor | |

De los 9 puestos de trabajo; el puesto de Perforista es el de mayor riesgo entre todos seguido por el de Servidor General, considerándose ambos como RIESGOS INACEPTABLES.

Se consideran como RIESGO INDETERMINADO a todos los demás puestos.

4.2. RECOMENDACIONES

Los resultados muestran la necesidad de implementar de manera formal un programa de conservación auditiva para los operadores de la mina, objetivo del presente estudio y siguiendo los lineamiento de OSHA 29CFR-1910-95; especialmente enfocado en las necesidades de protección a los trabajadores desarrollando tareas en el sub-proceso de perforación y sostenimiento. Teniendo un cuidado prioritario los puestos de trabajo de perforista y de servidor general.

Las gerencias involucradas, tomando como referencia los resultados del estudio podrán asignar de manera prioritaria, presupuestos para desarrollar proyectos para el control de ruido en las áreas de trabajo donde los GES alcanzaron niveles de riesgo INACEPTABLE o INDETERMINADOS. La estrategia para abordar los controles de ruido deberá de obedecer una jerarquía, priorizando el control en la fuente de generación, en el medio de transmisión y finalmente el control en la persona. Pero debido a la naturaleza de las operaciones y del ambiente de trabajo, los controles con equipos de protección personal son requeridos irrefutablemente en todas las personas que se encuentren en el proceso de explotación y en especial en el sub-proceso perforación.

Todos los puestos que ingresan a socavón a realizar diversas actividades sea por uno u otro sub-proceso deberán ingresar a un programa de vigilancia médica ocupacional, para realizar el seguimiento de los resultados audiométricos de los

trabajadores y tomar medidas correctivas de manera oportuna. Este programa de vigilancia médica debe estar a cargo de un equipo de profesionales de conocimiento certificado como médicos ocupacionales, higienistas industriales, enfermeras ocupacionales y otro personal de apoyo.

Se recomienda implementar un programa de entrenamiento y sensibilización para el personal en riesgo. Los temas a desarrollar deberán incluir, por ejemplo los riesgos de la exposición continua al ruido y sus efectos en la salud; resultados de los monitoreos; estrategias para el control de ruido y sobre la selección, uso y cuidado de los equipos de protección auditiva.

Los resultados del presente estudio, pueden ser utilizados como referencias para un análisis cualitativo de las actividades en las empresas mineras de manera que se elaboren estrategias para la prevención de la hipoacusia inducida por ruido.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Enciclopedia de Seguridad y Salud en el Trabajo-OIT
- La estrategia para la evaluación ocupacional, 2010-AIHA
- Seguridad Industrial, Ray Asfahl 4ta edición, 2000
- Higiene industrial, Manual para la formación del especialista. Faustino Menendez Diez, 11ra edición, 2009
- Manual de Higiene Industrial-MAPFRE
- Estadísticas sobre seguridad y salud ocupacional del Ministerio de trabajo y Promoción del Empleo
- Publicaciones de la Acoustical Society of America
- Alcántara, M.C. (2001). Contaminación Acústica de la Actividad Minera en la Región Central del Perú. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Bauer, E.R., Babich, D.R., & Viperman, J.R. (2006). Equipment Noise and Worker Exposure in the Coal Industry. Pittsburgh Research Laboratory, Center for Disease Control and Prevention NIOSH. Pittsburgh, PA: Department of Health and Human Services.
- Bauer, E., & Kholer, J. (2000). Cross-Sectional Survey of Noise Exposure in the Mining Industry. Proceeding of the 31st Annual Institute on Mining Health, Safety and Research.
- Gilbert, R. (1987). Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring. New York: Van Nostrand Reinhold Company.

- Hethmon, T.A. (1997). Development of an Industrial Hygiene Program at a New Mine in Chile. Applied Occupational and Environmental Hygiene, 12 (12), 900-905
- Hewett, P. (2001). Industrial Hygiene Exposure Assessment – data collection and management. En R. E. Alaimo, Handbook of Chemical Health and Safety (pags 81-101). New York: Oxford university Press.
- Land, C. (1971). Confidence Intervals for Linear Functions of the Normal Mean and Variance. The Annals of Mathematical Statistics (42), 1187-1205.
- Land, C. (1975). Tables of Confidence Limits for linear Functions of the Normal Mean and Variance. Selected Tables in Mathematical Statistics, III.
- McBride, D. I. (2004). Noise-induced hearing loss and hearing conservation in mining. Occupational Medicine (54), 290-291.
- Ministerio de Salud (2005) Manual de Salud Ocupacional. Ministerio de Salud, Dirección General de Salud Ambiental, Lima.
- Ministerio de Salud (2012) Plan de Trabajo de Inspección de Salud Ocupacional en el Sector Minería. Lima: Dirección General de Salud Ambiental.
- Ministerio de Salud (2012). Plan de Trabajo de Inspección de Salud Ocupacional en el Sector Minería. Dirección General de Salud Ambiental, Lima.
- Sensogut, C. (2007) Occupational Noise in Mines and its Controls – A case Study. Polish Journal of Environmental Studies, vol. 16 (6)
- www.preventionworld.com
- www.cdc.gov/spanish/niosh
- ISO 9612:2009, Acoustics — Determination of occupational noise exposure — engineering method
- ISO 1999:2013, Acoustics — Estimation of noise-induced hearing loss.

6. ANEXOS

ANEXO 1:

PROCESO GENERAL - TODAS LAS ACTIVIDADES								
Nº	TWA	TWA min	TWA max	T muestra (h)	Leqd min (8h)	Leqd max (8h)	Pef ² min (8h)	Pef ² max (8h)
1	97.8	96.8	98.8	5.5	95.2	97.2	1.3	2.1
2	90.0	89.0	91.0	4.1	86.0	88.0	0.2	0.3
3	95.7	94.7	96.7	7.2	94.2	96.2	1.1	1.7
4	86.5	85.5	87.5	5.4	83.7	85.7	0.1	0.2
5	100.8	99.8	101.8	7.3	99.5	101.5	3.5	5.6
6	105.5	104.5	106.5	7.6	104.3	106.3	10.8	17.1
7	85.2	84.2	86.2	6.5	83.3	85.3	0.1	0.1
8	77.4	76.4	78.4	6.5	75.5	77.5	0.0	0.0
9	104.5	103.5	105.5	7.1	103.0	105.0	8.0	12.7
10	98.4	97.4	99.4	7.8	97.3	99.3	2.2	3.4
11	104.5	103.5	105.5	7.1	103.0	105.0	8.0	12.7
12	93.3	92.3	94.3	7.7	92.1	94.1	0.7	1.0
13	94.2	93.2	95.2	6.1	92.0	94.0	0.6	1.0
14	95.8	94.8	96.8	7.8	94.7	96.7	1.2	1.9
15	97.2	96.2	98.2	8.7	96.6	98.6	1.8	2.9
16	92.1	91.1	93.1	6.0	89.8	91.8	0.4	0.6
17	79.6	78.6	80.6	4.7	76.2	78.2	0.0	0.0
18	105.9	104.9	106.9	5.8	103.5	105.5	9.0	14.2
19	83.2	82.2	84.2	7.0	81.6	83.6	0.1	0.1
20	100.7	99.7	101.7	5.7	98.2	100.2	2.7	4.2
21	88.7	87.7	89.7	8.2	87.8	89.8	0.2	0.4
22	96.7	95.7	97.7	7.1	95.2	97.2	1.3	2.1
23	99.2	98.2	100.2	7.6	97.9	99.9	2.5	3.9
24	101.2	100.2	102.2	7.9	100.2	102.2	4.2	6.6
25	101.5	100.5	102.5	4.7	98.1	100.1	2.6	4.1
26	95.4	94.4	96.4	5.9	93.1	95.1	0.8	1.3
27	98.1	97.1	99.1	7.4	96.8	98.8	1.9	3.0
28	103.1	102.1	104.1	7.3	101.7	103.7	6.0	9.5
29	92.1	91.1	93.1	7.8	91.0	93.0	0.5	0.8
30	103.3	102.3	104.3	6.7	101.5	103.5	5.6	8.9
31	103.8	102.8	104.8	6.2	101.7	103.7	5.9	9.3
32	92.9	91.9	93.9	6.6	91.1	93.1	0.5	0.8
33	100.4	99.4	101.4	7.7	99.2	101.2	3.4	5.3
34	96.9	95.9	97.9	8.2	96.0	98.0	1.6	2.5
35	101.0	100.0	102.0	6.3	99.0	101.0	3.2	5.0
36	93.1	92.1	94.1	6.9	91.4	93.4	0.6	0.9
37	98.6	97.6	99.6	7.4	97.2	99.2	2.1	3.3
38	91.7	90.7	92.7	7.3	90.3	92.3	0.4	0.7
39	64.5	63.5	65.5	7.1	62.9	64.9	0.0	0.0

PROCESO GENERAL - TODAS LAS ACTIVIDADES								
40	98.8	97.8	99.8	8.7	98.2	100.2	2.6	4.2

# muestras	Pmedia ²	Leqd min medio	media aritmetica	variación estandar	diferencia	límite inferior	límite superior
40.00	2.43	97.84	93.50	8.65	0.00	97.84	97.84
# muestras	Pmedia ²	Leqd max medio	media aritmetica	variación estandar	diferencia	límite inferior	límite superior
40.00	3.86	99.84	95.50	8.65	0.00	99.84	99.84

ANEXO 2

PROCESO DESATADO - PUESTOS VARIOS								
Nº	TWA	TWA min	TWA max	T muestra (h)	Leqd min (8h)	Leqd max (8h)	Pef ² min	Pef ² max
1	66.8	65.8	67.8	0.4	53.2	55.2	0.0	0.0
2	80.5	79.5	81.5	0.3	64.8	66.8	0.0	0.0
3	80.6	79.6	81.6	0.2	63.2	65.2	0.0	0.0
4	77.1	76.1	78.1	1.0	67.1	69.1	0.0	0.0
5	69.1	68.1	70.1	1.6	61.1	63.1	0.0	0.0
6	70.6	69.6	71.6	0.2	53.2	55.2	0.0	0.0
7	58.0	57.0	59.0	0.6	45.6	47.6	0.0	0.0
8	63.2	62.2	64.2	0.6	51.1	53.1	0.0	0.0
9	58.4	57.4	59.4	2.1	51.6	53.6	0.0	0.0
10	73.4	72.4	74.4	0.1	54.8	56.8	0.0	0.0
11	69.7	68.7	70.7	0.4	56.1	58.1	0.0	0.0
12	83.2	82.2	84.2	0.7	71.8	73.8	0.0	0.0
13	71.4	70.4	72.4	0.3	55.9	57.9	0.0	0.0
14	83.9	82.9	84.9	0.3	68.6	70.6	0.0	0.0
15	72.7	71.7	73.7	0.9	62.2	64.2	0.0	0.0
16	64.3	63.3	65.3	1.9	57.1	59.1	0.0	0.0
17	87.6	86.6	88.6	0.2	70.2	72.2	0.0	0.0
18	63.9	62.9	64.9	0.5	50.9	52.9	0.0	0.0
19	89.8	88.8	90.8	0.1	71.4	73.4	0.0	0.0
20	72.0	71.0	73.0	0.6	59.8	61.8	0.0	0.0
21	66.9	65.9	67.9	0.9	56.7	58.7	0.0	0.0
22	86.1	85.1	87.1	0.7	74.7	76.7	0.0	0.0
23	84.9	83.9	85.9	1.3	75.9	77.9	0.0	0.0
24	61.1	60.1	62.1	0.4	46.9	48.9	0.0	0.0
25	55.4	54.4	56.4	0.0	26.1	28.1	0.0	0.0
27	98.1	97.1	99.1	7.4	96.8	98.8	1.9	3.0
28	103.1	102.1	104.1	7.3	101.7	103.7	6.0	9.5
29	92.1	91.1	93.1	7.8	91.0	93.0	0.5	0.8
30	103.3	102.3	104.3	6.7	101.5	103.5	5.6	8.9

PROCESO DESATADO - PUESTOS VARIOS								
31	103.8	102.8	104.8	6.2	101.7	103.7	5.9	9.3
32	92.9	91.9	93.9	6.6	91.1	93.1	0.5	0.8
33	100.4	99.4	101.4	7.7	99.2	101.2	3.4	5.3
34	96.9	95.9	97.9	8.2	96.0	98.0	1.6	2.5
35	101.0	100.0	102.0	6.3	99.0	101.0	3.2	5.0
36	93.1	92.1	94.1	6.9	91.4	93.4	0.6	0.9
37	98.6	97.6	99.6	7.4	97.2	99.2	2.1	3.3
38	91.7	90.7	92.7	7.3	90.3	92.3	0.4	0.7
39	64.5	63.5	65.5	7.1	62.9	64.9	0.0	0.0
40	98.8	97.8	99.8	8.7	98.2	100.2	2.6	4.2

# muestras	Pmedia ²	Leqd min medio	media aritmetica	variación estandar	diferencia	límite inferior	límite superior
25.00	0.00	67.21	58.78	10.99	0.00	67.21	67.21
# muestras	Pmedia ²	Leqd max medio	media aritmetica	variación estandar	diferencia	límite inferior	límite superior
25.00	0.00	69.21	60.78	10.99	0.00	69.21	69.21

ANEXO 3:

PROCESO EXTRACCIÓN Y TRANSPORTE - PUESTOS VARIOS								
Nº	TWA	TWA min	TWA max	T muestra (h)	Leqd min (8h)	Leqd max (8h)	Pef ² min (8h)	Pef ² max (8h)
1	60.2	59.2	61.2	0.3	44.2	46.2	0.0	0.0
2	63.0	62.0	64.0	0.7	51.6	53.6	0.0	0.0
3	72.2	71.2	73.2	0.2	54.4	56.4	0.0	0.0

# muestras	Pmedia ²	Leqd min medio	media aritmetica	variación estandar	diferencia	límite inferior	límite superior
3.00	0.00	51.74	50.06	5.31	13.19	38.55	64.93
# muestras	Pmedia ²	Leqd max medio	media aritmetica	variación estandar	diferencia	límite inferior	límite superior
3.00	0.00	53.74	52.06	5.31	13.19	40.55	66.93

ANEXO 4:

PROCESO DE LIMPIEZA - PUESTOS VARIOS								
Nº	TWA	TWA min	TWA max	T muestra (h)	Leqd min (8h)	Leqd max (8h)	Pef ² min	Pef ² max
1	70.4	69.4	71.4	0.9	60.0	62.0	0.0	0.0
2	86.9	85.9	87.9	2.5	80.9	82.9	0.1	0.1
3	85.8	84.8	86.8	2.0	78.7	80.7	0.0	0.1
4	86.1	85.1	87.1	0.3	70.4	72.4	0.0	0.0
5	85.5	84.5	86.5	1.5	77.1	79.1	0.0	0.0

PROCESO DE LIMPIEZA - PUESTOS VARIOS								
6	86.9	85.9	87.9	3.0	81.5	83.5	0.1	0.1
7	87.8	86.8	88.8	1.8	80.3	82.3	0.0	0.1
8	78.7	77.7	79.7	1.1	69.2	71.2	0.0	0.0
9	88.5	87.5	89.5	1.5	80.2	82.2	0.0	0.1
10	89.4	88.4	90.4	0.2	72.0	74.0	0.0	0.0
11	71.2	70.2	72.2	1.1	61.7	63.7	0.0	0.0
12	89.8	88.8	90.8	0.3	74.5	76.5	0.0	0.0
13	84.3	83.3	85.3	0.1	65.5	67.5	0.0	0.0
14	90.0	89.0	91.0	0.2	73.6	75.6	0.0	0.0
15	81.8	80.8	82.8	0.2	64.4	66.4	0.0	0.0
16	89.5	88.5	90.5	0.7	77.9	79.9	0.0	0.0
17	89.9	88.9	90.9	0.1	69.9	71.9	0.0	0.0
18	85.8	84.8	86.8	0.5	72.3	74.3	0.0	0.0
19	58.9	57.9	59.9	0.9	48.5	50.5	0.0	0.0
20	95.1	94.1	96.1	0.4	81.1	83.1	0.1	0.1
21	93.7	92.7	94.7	0.5	80.3	82.3	0.0	0.1
22	59.6	58.6	60.6	1.7	51.9	53.9	0.0	0.0
23	85.9	84.9	86.9	0.4	71.9	73.9	0.0	0.0
24	70.8	69.8	71.8	0.3	55.2	57.2	0.0	0.0
25	69.3	68.3	70.3	0.3	54.0	56.0	0.0	0.0
27	70.4	69.4	71.4	0.2	53.4	55.4	0.0	0.0
28	54.0	53.0	55.0	0.9	43.3	45.3	0.0	0.0
29	55.5	54.5	56.5	0.0	30.7	32.7	0.0	0.0
30	91.5	90.5	92.5	0.5	78.4	80.4	0.0	0.0
31	71.1	70.1	72.1	0.3	55.4	57.4	0.0	0.0
32	85.3	84.3	86.3	0.6	73.0	75.0	0.0	0.0
33	66.5	65.5	67.5	0.8	55.5	57.5	0.0	0.0
34	75.5	74.5	76.5	0.2	58.1	60.1	0.0	0.0
35	66.8	65.8	67.8	1.3	57.8	59.8	0.0	0.0
36	80.8	79.8	81.8	0.5	68.0	70.0	0.0	0.0
37	89.0	88.0	90.0	1.2	79.8	81.8	0.0	0.1
38	83.4	82.4	84.4	1.0	73.5	75.5	0.0	0.0
39	80.1	79.1	81.1	0.8	69.0	71.0	0.0	0.0
40	85.8	84.8	86.8	1.1	76.2	78.2	0.0	0.0
41	85.34	84.34	86.34	0.78	74.25	76.25	0.01	0.02
42	75.20	74.20	76.20	0.40	61.19	63.19	0.00	0.00
43	81.28	80.28	82.28	1.50	73.01	75.01	0.01	0.01
44	81.95	80.95	82.95	0.83	71.10	73.10	0.01	0.01
45	85.86	84.86	86.86	0.81	74.89	76.89	0.01	0.02
46	87.43	86.43	88.43	0.28	71.93	73.93	0.01	0.01
47	85.13	84.13	86.13	0.71	73.58	75.58	0.01	0.01
48	91.10	90.10	92.10	0.75	79.80	81.80	0.04	0.06
49	84.63	83.63	85.63	0.55	72.00	74.00	0.01	0.01
50	104.06	103.06	105.06	1.50	95.79	97.79	1.52	2.41

PROCESO DE LIMPIEZA - PUESTOS VARIOS								
51	71.60	70.60	72.60	0.74	60.27	62.27	0.00	0.00
52	89.30	88.30	90.30	3.41	84.60	86.60	0.12	0.18
53	80.72	79.72	81.72	0.20	63.69	65.69	0.00	0.00
54	86.54	85.54	87.54	1.18	77.24	79.24	0.02	0.03
55	78.45	77.45	79.45	1.22	69.27	71.27	0.00	0.01
56	90.90	89.90	91.90	0.35	76.31	78.31	0.02	0.03
57	84.48	83.48	85.48	1.65	76.62	78.62	0.02	0.03
58	85.06	84.06	86.06	0.73	73.67	75.67	0.01	0.01
59	88.96	87.96	89.96	0.60	76.69	78.69	0.02	0.03
60	69.12	68.12	70.12	0.63	57.10	59.10	0.00	0.00
61	57.01	56.01	58.01	0.45	43.52	45.52	0.00	0.00
62	90.31	89.31	91.31	0.48	77.12	79.12	0.02	0.03
63	92.13	91.13	93.13	0.12	72.77	74.77	0.01	0.01
64	62.65	61.65	63.65	1.17	53.29	55.29	0.00	0.00
65	90.28	89.28	91.28	0.24	74.04	76.04	0.01	0.02
66	85.04	84.04	86.04	0.75	73.76	75.76	0.01	0.02
67	85.95	84.95	86.95	0.77	74.76	76.76	0.01	0.02
68	84.75	83.75	85.75	0.23	68.40	70.40	0.00	0.00
69	89.11	88.11	90.11	0.77	77.94	79.94	0.02	0.04
70	88.66	87.66	89.66	1.69	80.90	82.90	0.05	0.08
71	89.28	88.28	90.28	0.52	76.44	78.44	0.02	0.03
72	88.95	87.95	89.95	0.43	75.29	77.29	0.01	0.02

# muestras	Pmedia^2	Leqd min medio	media aritmetica	variación estandar	diferencia	límite inferior	límite superior
71.00	0.04	79.46	69.52	11.24	0.00	79.46	79.46
# muestras	Pmedia^2	Leqd max medio	media aritmetica	variación estandar	diferencia	límite inferior	límite superior
71.00	0.06	81.46	71.52	11.24	0.00	81.46	81.46

ANEXO 5:

PROCESO DE PERFORACIÓN - PUESTOS VARIOS								
Nº	TWA	TWA min	TWA max	T muestra (h)	Leqd min (8h)	Leqd max (8h)	Pef^2 min	Pef^2 max
1	65.4	64.4	66.4	0.3	49.7	51.7	0.0	0.0
2	68.4	67.4	69.4	1.2	59.0	61.0	0.0	0.0
3	95.9	94.9	96.9	0.7	84.0	86.0	0.1	0.2
4	71.8	70.8	72.8	0.6	59.4	61.4	0.0	0.0
5	97.0	96.0	98.0	1.6	89.1	91.1	0.3	0.5
6	86.8	85.8	87.8	0.8	75.8	77.8	0.0	0.0
7	93.9	92.9	94.9	0.7	82.0	84.0	0.1	0.1
8	85.3	84.3	86.3	0.2	68.2	70.2	0.0	0.0
9	95.4	94.4	96.4	1.8	88.0	90.0	0.3	0.4

PROCESO DE PERFORACIÓN - PUESTOS VARIOS								
10	98.4	97.4	99.4	0.7	86.6	88.6	0.2	0.3
11	71.6	70.6	72.6	0.7	60.1	62.1	0.0	0.0
12	91.7	90.7	92.7	1.1	81.9	83.9	0.1	0.1
13	84.3	83.3	85.3	0.5	71.1	73.1	0.0	0.0
14	104.1	103.1	105.1	2.6	98.2	100.2	2.6	4.2
15	97.1	96.1	98.1	1.6	89.1	91.1	0.3	0.5
16	100.4	99.4	101.4	1.3	91.5	93.5	0.6	0.9
17	109.5	108.5	110.5	2.4	103.3	105.3	8.5	13.5
18	108.5	107.5	109.5	0.8	97.5	99.5	2.3	3.6
19	64.0	63.0	65.0	0.7	52.3	54.3	0.0	0.0
20	65.5	64.5	66.5	0.3	49.6	51.6	0.0	0.0
21	107.6	106.6	108.6	0.6	95.6	97.6	1.4	2.3
22	107.2	106.2	108.2	0.5	94.5	96.5	1.1	1.8
23	69.5	68.5	70.5	0.2	52.1	54.1	0.0	0.0
24	110.0	109.0	111.0	1.4	101.3	103.3	5.4	8.5
25	62.9	61.9	63.9	0.5	49.7	51.7	0.0	0.0
27	65.5	64.5	66.5	0.3	49.6	51.6	0.0	0.0
28	107.6	106.6	108.6	0.6	95.6	97.6	1.4	2.3
29	65.4	64.4	66.4	0.3	50.1	52.1	0.0	0.0
30	108.0	107.0	109.0	0.5	94.5	96.5	1.1	1.8
31	58.9	57.9	59.9	0.1	37.1	39.1	0.0	0.0
32	110.7	109.7	111.7	1.2	101.3	103.3	5.4	8.5
33	66.7	65.7	67.7	0.7	55.0	57.0	0.0	0.0
34	95.6	94.6	96.6	1.5	87.4	89.4	0.2	0.4
35	96.5	95.5	97.5	1.2	87.1	89.1	0.2	0.3
36	94.0	93.0	95.0	2.2	87.3	89.3	0.2	0.3
37	89.2	88.2	90.2	0.2	72.5	74.5	0.0	0.0
38	102.8	101.8	103.8	0.4	88.8	90.8	0.3	0.5
39	84.5	83.5	85.5	0.3	69.7	71.7	0.0	0.0
40	100.7	99.7	101.7	0.6	88.0	90.0	0.3	0.4
41	82.73	81.73	83.73	0.12	63.37	65.37	0.00	0.00
42	87.17	86.17	88.17	0.35	72.58	74.58	0.01	0.01
43	101.53	100.53	102.53	1.88	94.25	96.25	1.06	1.69
44	66.75	65.75	67.75	1.00	56.72	58.72	0.00	0.00
45	94.10	93.10	95.10	1.03	84.21	86.21	0.11	0.17
46	82.49	81.49	83.49	0.70	70.91	72.91	0.00	0.01
47	91.60	90.60	92.60	1.78	84.08	86.08	0.10	0.16
48	79.34	78.34	80.34	0.15	61.07	63.07	0.00	0.00
49	94.26	93.26	95.26	0.85	83.52	85.52	0.09	0.14
50	76.50	75.50	77.50	0.22	59.82	61.82	0.00	0.00
51	94.28	93.28	95.28	0.75	83.00	85.00	0.08	0.13
52	79.05	78.05	80.05	0.25	62.91	64.91	0.00	0.00
53	110.23	109.23	111.23	2.13	103.49	105.49	8.94	14.17
54	79.54	78.54	80.54	0.08	58.72	60.72	0.00	0.00

PROCESO DE PERFORACIÓN - PUESTOS VARIOS								
55	62.16	61.16	63.16	0.20	45.24	47.24	0.00	0.00
56	93.77	92.77	94.77	1.58	85.73	87.73	0.15	0.24
57	80.39	79.39	81.39	0.15	62.12	64.12	0.00	0.00
58	91.05	90.05	92.05	1.03	81.13	83.13	0.05	0.08
59	89.88	88.88	90.88	0.81	78.92	80.92	0.03	0.05
60	91.55	90.55	92.55	2.01	84.54	86.54	0.11	0.18
61	78.02	77.02	79.02	0.25	61.97	63.97	0.00	0.00
62	94.61	93.61	95.61	1.97	87.52	89.52	0.23	0.36
63	103.10	102.10	104.10	3.20	98.12	100.12	2.60	4.11
64	79.02	78.02	80.02	0.30	63.76	65.76	0.00	0.00
65	104.43	103.43	105.43	0.70	92.85	94.85	0.77	1.22
66	69.80	68.80	70.80	0.23	53.45	55.45	0.00	0.00
67	66.27	65.27	67.27	0.58	53.86	55.86	0.00	0.00
68	82.55	81.55	83.55	0.05	59.10	61.10	0.00	0.00
69	107.50	106.50	108.50	1.76	99.93	101.93	3.93	6.24
70	80.38	79.38	81.38	0.30	65.05	67.05	0.00	0.00
71	104.50	103.50	105.50	2.75	98.86	100.86	3.08	4.88
72	106.31	105.31	107.31	1.50	98.04	100.04	2.55	4.04
73	63.81	62.81	64.81	0.15	45.48	47.48	0.00	0.00
74	109.18	108.18	110.18	1.78	101.66	103.66	5.86	9.29
75	51.09	50.09	52.09	1.02	41.13	43.13	0.00	0.00
76	100.20	99.20	101.20	0.65	88.30	90.30	0.27	0.43
77	94.74	93.74	95.74	0.55	82.11	84.11	0.07	0.10
78	90.64	89.64	91.64	0.62	78.51	80.51	0.03	0.04
79	96.90	95.90	97.90	0.55	84.27	86.27	0.11	0.17
80	103.43	102.43	104.43	0.91	93.00	95.00	0.80	1.27
81	105.38	104.38	106.38	1.75	97.77	99.77	2.39	3.79
82	72.48	71.48	73.48	1.75	64.88	66.88	0.00	0.00
83	103.91	102.91	104.91	1.58	95.87	97.87	1.55	2.45
84	93.43	92.43	94.43	0.40	79.46	81.46	0.04	0.06
85	102.20	101.20	103.20	2.60	96.32	98.32	1.71	2.72
86	100.03	99.03	101.03	0.92	89.65	91.65	0.37	0.58
87	103.09	102.09	104.09	1.29	94.17	96.17	1.04	1.65
88	86.56	85.56	87.56	1.39	77.97	79.97	0.03	0.04
89	64.62	63.62	65.62	0.57	52.12	54.12	0.00	0.00
90	69.23	68.23	70.23	0.87	58.58	60.58	0.00	0.00
91	103.14	102.14	104.14	0.64	91.20	93.20	0.53	0.84
92	106.00	105.00	107.00	0.96	95.79	97.79	1.52	2.41
93	88.31	87.31	89.31	0.13	69.53	71.53	0.00	0.01
94	76.47	75.47	77.47	0.37	62.08	64.08	0.00	0.00
95	102.81	101.81	103.81	1.00	92.78	94.78	0.76	1.20
96	103.21	102.21	104.21	0.18	85.70	87.70	0.15	0.24
97	100.37	99.37	101.37	1.94	93.22	95.22	0.84	1.33
98	82.67	81.67	83.67	0.15	64.40	66.40	0.00	0.00

# muestras	Pmedia ²	Leqd min medio	media aritmetica	variación estandar	diferencia	límite inferior	límite superior
98	0.77	92.82	77.09	17.60	0.00	92.82	92.82
# muestras	Pmedia ²	Leqd max medio	media aritmetica	variación estandar	diferencia	límite inferior	límite superior
98	1.21	94.82	79.09	17.60	0.00	94.82	94.82

ANEXO 6:

PROCESO DE RIEGO - PUESTOS VARIOS								
Nº	TWA	TWA min	TWA max	T muestra (h)	Leqd min (8h)	Leqd max (8h)	Pef ² min (8h)	Pef ² max (8h)
1	77.4	76.4	78.4	0.1	58.9	60.9	0.0	0.0
2	67.8	66.8	68.8	0.2	50.7	52.7	0.0	0.0
3	60.8	59.8	61.8	0.4	46.7	48.7	0.0	0.0
4	90.4	89.4	91.4	0.1	70.6	72.6	0.0	0.0
5	62.1	61.1	63.1	0.2	44.0	46.0	0.0	0.0
6	67.1	66.1	68.1	0.6	54.7	56.7	0.0	0.0
7	71.0	70.0	72.0	0.2	52.8	54.8	0.0	0.0
8	58.0	57.0	59.0	0.2	40.6	42.6	0.0	0.0

# muestras	Pmedia ²	Leqd min medio	media aritmetica	variación estandar	diferencia	límite inferior	límite superior
8.00	0.00	62.08	52.39	9.43	7.87	54.21	69.95
# muestras	Pmedia ²	Leqd max medio	media aritmetica	variación estandar	diferencia	límite inferior	límite superior
8.00	0.00	64.08	54.39	9.43	7.87	56.21	71.95

ANEXO 7:

PROCESO DE SERVICIOS MINA - PUESTOS VARIOS								
Nº	TWA	TWA min	TWA max	T muestra (h)	Leqd min (8h)	Leqd max (8h)	Pef ² min	Pef ² max
1	76.4	75.4	77.4	0.5	62.9	64.9	0.0	0.0
2	79.8	78.8	80.8	1.3	70.8	72.8	0.0	0.0
3	68.4	67.4	69.4	2.0	61.4	63.4	0.0	0.0
4	64.3	63.3	65.3	0.5	51.4	53.4	0.0	0.0
5	70.8	69.8	71.8	0.4	57.0	59.0	0.0	0.0
6	75.5	74.5	76.5	1.3	66.5	68.5	0.0	0.0
7	59.2	58.2	60.2	1.6	51.3	53.3	0.0	0.0

# muestras	Pmedia ²	Leqd min medio	media aritmetica	variación estandar	diferencia	límite inferior	límite superior
7.00	0.00	64.66	60.17	7.38	6.83	57.83	71.49
# muestras	Pmedia ²	Leqd max medio	media aritmetica	variación estandar	diferencia	límite inferior	límite superior
7.00	0.00	66.66	62.17	7.38	6.83	59.83	73.49

ANEXO 8:

PROCESO DE SOSTENIMIENTO - PUESTOS VARIOS								
Nº	TWA	TWA min	TWA max	T muestra (h)	Leqd min (8h)	Leqd max (8h)	Pef ² min (8h)	Pef ² max (8h)
1	84.1	83.1	85.1	0.3	69.0	71.0	0.0	0.0
2	102.9	101.9	103.9	1.7	95.1	97.1	1.3	2.1
3	88.7	87.7	89.7	0.2	70.9	72.9	0.0	0.0
4	87.3	86.3	88.3	0.5	74.0	76.0	0.0	0.0
5	88.2	87.2	89.2	0.9	77.6	79.6	0.0	0.0
6	76.4	75.4	77.4	2.2	69.8	71.8	0.0	0.0
7	66.4	65.4	67.4	0.5	53.2	55.2	0.0	0.0
8	106.7	105.7	107.7	1.2	97.3	99.3	2.2	3.4
9	59.6	58.6	60.6	1.7	51.9	53.9	0.0	0.0
10	104.5	103.5	105.5	1.3	95.7	97.7	1.5	2.3
11	67.6	66.6	68.6	0.0	42.8	44.8	0.0	0.0
12	65.3	64.3	66.3	0.9	54.5	56.5	0.0	0.0
13	82.3	81.3	83.3	2.5	76.2	78.2	0.0	0.0
14	72.8	71.8	73.8	0.4	59.0	61.0	0.0	0.0
15	105.5	104.5	106.5	1.8	98.0	100.0	2.5	4.0
16	96.8	95.8	97.8	0.7	85.1	87.1	0.1	0.2
17	79.5	78.5	80.5	0.2	63.1	65.1	0.0	0.0
18	93.4	92.4	94.4	0.8	82.5	84.5	0.1	0.1
19	94.8	93.8	95.8	0.2	77.0	79.0	0.0	0.0
20	79.1	78.1	80.1	0.6	66.5	68.5	0.0	0.0
21	74.1	73.1	75.1	0.1	52.3	54.3	0.0	0.0
22	102.4	101.4	103.4	1.7	94.8	96.8	1.2	1.9
23	68.6	67.6	69.6	0.8	57.6	59.6	0.0	0.0
24	102.6	101.6	103.6	3.3	97.7	99.7	2.4	3.8
25	85.8	84.8	86.8	0.4	71.4	73.4	0.0	0.0
27	107.8	106.8	108.8	1.6	99.9	101.9	3.9	6.2
28	71.3	70.3	72.3	0.3	55.8	57.8	0.0	0.0
29	83.3	82.3	84.3	0.0	57.3	59.3	0.0	0.0
30	73.8	72.8	74.8	1.1	64.3	66.3	0.0	0.0
31	104.0	103.0	105.0	0.3	88.8	90.8	0.3	0.5
32	100.3	99.3	101.3	0.2	82.4	84.4	0.1	0.1
33	105.5	104.5	106.5	1.1	95.8	97.8	1.5	2.4
34	68.5	67.5	69.5	0.2	50.7	52.7	0.0	0.0
35	99.5	98.5	100.5	0.3	84.7	86.7	0.1	0.2
36	101.4	100.4	102.4	0.5	88.3	90.3	0.3	0.4
37	71.3	70.3	72.3	0.4	57.3	59.3	0.0	0.0
38	79.7	78.7	80.7	0.2	62.3	64.3	0.0	0.0
39	74.6	73.6	75.6	0.6	62.1	64.1	0.0	0.0
40	101.8	100.8	102.8	0.9	91.1	93.1	0.5	0.8

PROCESO DE SOSTENIMIENTO - PUESTOS VARIOS								
41	97.32	96.32	98.32	1.52	89.10	91.10	0.32	0.51
42	57.73	56.73	58.73	0.42	43.89	45.89	0.00	0.00
43	48.94	47.94	49.94	0.18	31.55	33.55	0.00	0.00
44	65.71	64.71	66.71	3.10	60.59	62.59	0.00	0.00
45	65.24	64.24	66.24	2.36	58.93	60.93	0.00	0.00
46	75.96	74.96	76.96	0.87	65.31	67.31	0.00	0.00
47	97.67	96.67	98.67	0.98	87.56	89.56	0.23	0.36

# muestras	Pmedia^2	Leqd min medio	media aritmetica	variación estandar	diferencia	límite inferior	límite superior
47	0.40	90.03	71.97	17.63	0.00	90.03	90.03
# muestras	Pmedia^2	Leqd max medio	media aritmetica	variación estandar	diferencia	límite inferior	límite superior
47	0.64	92.03	73.97	17.63	0.00	92.03	92.03