

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Ingeniería Acústica



Profesor Patrocinante

Alfio Yori F.
Instituto de Acústica
Facultad de Cs. de la Ingeniería
Universidad Austral de Chile

Profesor Co-Patrocinante

Víctor Poblete R.
Instituto de Acústica
Facultad de Cs. de la Ingeniería
Universidad Austral de Chile

Ruido impulsivo contextualizado en el ámbito laboral

Tesis de Grado Presentada Como
Parte de los Requisitos Para Optar al Grado de
Licenciado en Acústica
y al Título Profesional de Ingeniero Acústico

Nelson Maglio Olate Cea
Valdivia Chile 2002

ÍNDICE

1. RESUMEN	5
2. ABSTRACT	6
3. INTRODUCCIÓN	7
4. OBJETIVOS	9
4.1 Objetivos Generales	9
4.2 Objetivos Específicos	9
5. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	10
5.1 Fisiológicos	10
5.2 Publicaciones	19
5.2.1 Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN)	19
5.2.2 The Handbook of Hearing and the Effects of Noise	30
5.2.3 Decibel Sudamericana	39
5.2.4 Acoustics and Noise Control	44
5.2.5 Noise and Vibration Control	46
5.2.6 Criterio para un Estándar Recomendado (NIOSH)	51
5.2.7 Oficina de Control y Abatimiento de Ruido (EPA)	56

5.3 Normativas	64
5.3.1 ISO 10843	64
5.3.2 Norma Española UNE 74-024-92	74
5.3.3 British Standars, BS 5330: 1976 (1999)	78
5.4 Publicaciones Técnicas	82
5.4.1 JASA: "Pérdida Auditiva en la Chinchilla para Exposición a Ruido Impulso y Continuo"	82
5.4.2 JASA: Protección de la Audición Contra el Ruido Impulso de Alta Intensidad	94
5.4.3 JASA: Ruido Impacto: La Importancia del Nivel, Duración y Rango de Repetición	96
5.5 Documentos Complementarios	108
5.5.1 Decreto Supremo N° 745, 1993.	108
5.5.2 Decreto Supremo N° 594, 2000	110
5.5.3 Protocolo de Control y Seguimiento Trabajadores Expuestos a Ruido y/o con Sordera Profesional	114
6. ESTUDIO DE CASOS	119
6.1 Instrumentación Utilizada	120
6.2 Metodología	121
6.2.1 Medición N°1	123
6.2.2 Medición N°2	124
6.2.3 Medición N°3	126
6.2.4 Medición N°4	127

6.2.5 Medición N°5	128
6.3 Resumen de los Datos Obtenidos	130
6.4 Discusión de las Mediciones	133
7. CONCLUSIONES	134
8. AGRADECIMIENTOS	137
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138

1. RESUMEN

Este trabajo tiene por finalidad crear un texto que sirva como antecedente para los futuros estudios y propuestas de normativa para la medición de ruido impulsivo en recintos laborales.

La recopilación de este estudio está conformada tanto por información de aspectos fisiológicos del oído humano, técnicos (revistas científicas, libros e Internet) y aspectos normativos (nacionales e internacionales), con el fin de abarcar todo el ámbito en el cual se desarrolla este tipo de ruido.

Analizando la información recopilada, se pudo apreciar que no existe un criterio único para la medición de ruido impulsivo, pero si se puede indicar que ciertos parámetros como el nivel de presión sonora, espectro de frecuencias, rango de repetición, tiempo de elevación y tiempo de duración del impulso son los parámetros esenciales que deben ser considerados dentro de la medición de ruido impulsivo, teniendo como punto de referencia, la forma como responde el oído humano ante este estímulo.

Con el fin de poner en práctica el tema en estudio, se realizaron mediciones en el polígono de prueba de tiro, dentro de la industria de construcción de armamento del Ejército de Chile, FAMA E, a manera de ejemplificación de dicho tipo de ruido. Acto seguido, se concluye sobre la información recopilada.

2. ABSTRACT

This work have of finality, become a background for future studies and standars of impulse noise in the measurements of workplaces.

All information of the study is based in the collection of human physiology, technical documents (papers, books, Internet), national and international standars of impulse noise.

Analyzed the collected information, can see what the criterion of noise impulse are varied, but the frequent parameters are sound pressure level, spectrum of frecuency, repetition range, rise time and duration time of impulse noise , having of reference point, the behaviour of the hearing.

Furthermore, inside FAMAE industry, realized measurements impulse noise in the shot test room. This industry make armament of war and depend of Chilean Army. Then conclude about the collected information.

3. INTRODUCCIÓN

El constante crecimiento de las actividades industriales, entendido como una manera de perfeccionamiento de la actividad misma, a llevado a exponer a los trabajadores a un constante agente contaminante como es el ruido. Como dice el Dr. Soulaïraic en un simposio celebrado en Montpellier: *'El ruido es un problema muy amplio, puesto que el individuo es afectado en su integridad. La agresión sonora afecta al sistema cardiovascular, endocrino, neurofísico y sensorial'*¹.

Dentro de la exposición laboral al ruido, se encuentra un tipo de ruido que es el *Ruido Impulsivo*, que debido a sus características de duración, nivel y contenido espectral, puede ser igual o más peligroso que la exposición a ruido continuo. Este concepto se relaciona directamente con la reacción defensiva refleja del músculo estapedial (reflejo auditivo) que se encuentra en el oído medio, tensando la cadena de huesecillos (martillo, yunque y estribo) ante ese tipo de ruido.

Cuando fue propuesto este estudio, el decreto regulador de las condiciones sanitarias y ambientales básicas dentro de los lugares de trabajo, era el Decreto Supremo N° 745 de 1993 del Ministerio de Salud (MINSAL). Los artículos 64 hasta el 72, establecen los límites máximo de exposición a ruido, entendido como agente físico. Desde el artículo 64 hasta el 69, se establecen los límites máximos de exposición a ruido continuo y del 70 al 72 los límites máximo de exposición a ruido impulsivo, teniendo en consideración que la exposición a este ruido es dependiente del nivel y del número de repetición en una jornada laboral de 8 horas.

Al hacer un análisis de la sección dedicada a ruido impulsivo, se pueden identificar algunas deficiencias en la normativa:

- a) No existe una clara definición del ruido impulsivo, debido a sus características de duración y comportamiento en frecuencia, sin considerar el potencial de riesgo auditivo debido a las características propias de éste.

¹ LABEIN, "Taller de Acústica Ambiental", Valdivia, Octubre 1997

- b) La definición de ruido impulsivo indica que su duración máxima es de 1 segundo y además considera como situación límite, aquella en la cual la exposición es de 10.000 impulsos dentro de una jornada de trabajo, sin considerar una situación más extrema que es aquella que considera una exposición de 1 impulso por segundo, o sea, 28.800 impulsos en una jornada de trabajo de 8 horas.
- c) La normativa no considera ningún tipo de respuesta del instrumental de medición, como así también ninguna ponderación de los niveles en frecuencia.
- d) Se hace necesario unificar criterios de medición de ruido impulsivo en los lugares de trabajo, teniendo en cuenta que la exposición de ruido impulsivo puede causar el mismo o mayor daño auditivo, dado las características propias del tipo de ruido y la respuesta que tiene el oído humano ante este tipo de ruido.

En abril del año 2001, se publica en el diario oficial la nueva legislación, Decreto Supremo N° 594 del Ministerio de Salud, que modifica al antiguo decreto N° 745 de 1993.

En la sección correspondiente a ruido impulsivo, se modifica la forma de medir este tipo de ruido, donde se determinaron correcciones, tanto en la respuesta del instrumental, como en la respuesta en frecuencia, pero aún sigue siendo insuficiente este método como será demostrado más adelante.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivos Generales

Diseñar y entregar un documento que sirva de antecedente para otros estudios o legislaciones futuras, concerniente a la exposición laboral a ruido impulsivo en el ser humano.

4.2 Objetivos Específicos

- i) Realizar un documento recopilatorio en donde se encuentren:
 - ❑ Antecedentes fisiológicos del oído humano para la exposición al ruido impulsivo.
 - ❑ Antecedentes científicos sobre la exposición al ruido impulsivo.
 - ❑ Normativa nacional e internacional relacionada con el ruido impulsivo.

- ii) Determinar:
 - ❑ Una definición adecuada de ruido impulsivo.
 - ❑ Parámetros físicos de la medición (nivel de presión sonora, espectro, tiempo de duración del impulso).
 - ❑ Instrumental y configuración para medir ruido impulsivo.

- iii) Análisis de situaciones en terreno de exposición al ruido impulsivo.

5. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

5.1 Fisiológicos [1] [2] [3]

Fisiología del Oído

a) *Oído Externo*

El oído externo está compuesto por el pabellón auditivo, canal auditivo y el tímpano. El canal auditivo provee un pasadizo para que el sonido ingrese tanto al oído medio como al oído interno, estando estas últimas estructuras rodeadas y protegidas por el hueso del cráneo. El canal auditivo también previene la entrada de insectos u objetos que puedan dañar al tímpano. Además de esto, actúa para mantener al aire húmedo y cercano a la temperatura corporal ($\pm 0,2^{\circ}\text{C}$), condición esencial para que el tímpano funcione adecuadamente. Por otro lado, el tímpano es aproximadamente de forma cónica, ya que tiene un grado de rigidez para acoplarse a los huesos auditivos.

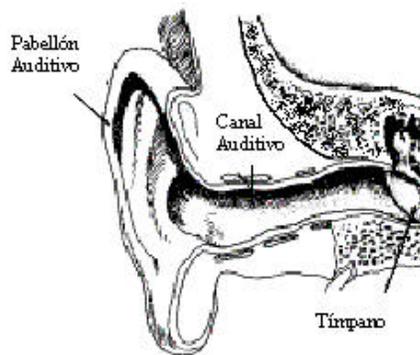


Figura 5.1.1: Fisiología del Oído Externo.

b) *Oído Interno*

El oído interno consta del caracol y los conductos semicirculares. El caracol sirve para permitir la audición, mientras que los conductos semicirculares son necesarios para el equilibrio. El caracol es una estructura pequeña en forma de espiral que contiene líquido y unos pelitos

especiales, llamados cilios, que actúan como sensores del sonido. Las ondas de sonido que se introducen en el oído crean una cadena de vibraciones comenzando en el tímpano, luego las vibraciones se transfieren por la cadena de huesecillos del oído medio, hasta llegar al caracol. Uno de estos huesos, el estribo, se mueve hacia arriba y hacia abajo en la ventana oval produciendo ondas en el líquido del caracol, que varían según la frecuencia del sonido y su amplitud. La respuesta de las células ciliadas a estas ondas depende de su localización dentro del caracol. El caracol está diseñado de tal modo que las células ciliadas más cercanas a la ventana oval, se muevan en respuesta a las frecuencias sonoras altas, mientras que aquellas que están más lejos, se mueven en respuesta a las frecuencias sonoras bajas. Hay muy poca variación entre los dos extremos, por lo tanto, es el cerebro el capacitado para distinguir la frecuencia que tiene un sonido, dependiendo de las células ciliadas excitadas en el caracol.

Los conductos semicirculares son necesarios para el equilibrio. Hay tres de estos conductos posicionados en ángulos rectos uno respecto al otro. De la misma forma que el caracol, los canales semicirculares contienen líquido y células ciliadas especializadas, pero contienen pequeños cristales que se mueven libremente en el líquido cuando se mueve la cabeza. Estos cristales rozan al pasar por las células capilares para indicar que la cabeza ha cambiado de posición. Si un individuo gira varias veces, el líquido y los cristales continúan moviéndose, incluso después de que la cabeza ha dejado de moverse. Esto explica la razón por la cual una persona llega a tener vértigo y puede derrumbarse después de haber dado muchas vueltas.

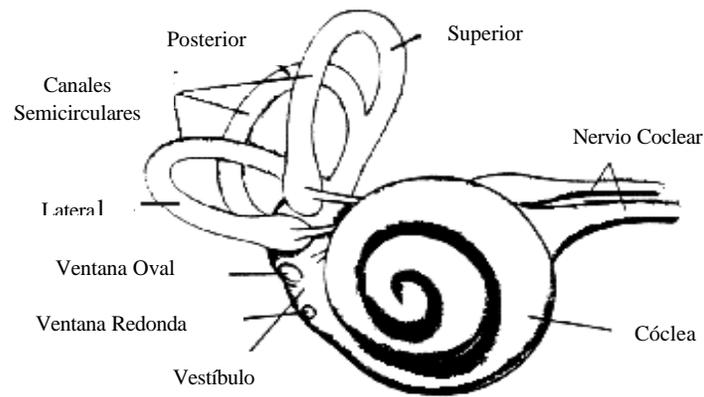


Figura 5.1.2: Fisiología del Oído Interno.

c) Oído Medio

El oído medio está lleno de aire y contiene a la cadena de huesecillos. El martillo está agarrado a la membrana timpánica; el yunque está firmemente sujeto al martillo y entonces actúa con el estribo, el cual está agarrado a su vez a la ventana oval del oído interno.

La función esencial del oído medio es acoplar eficientemente los movimientos del aire de baja densidad a la alta densidad del medio acuoso del oído interno. Para que exista este acoplamiento debe existir una impedancia combinada, o sea, la alta amplitud relativa pero baja fuerza del movimiento del aire, debe ser eficientemente acoplado a la alta resistencia al movimiento del fluido del oído interno (inercia), ya que se transmite la máxima cantidad de potencia (fuerza x velocidad). La membrana timpánica humana tiene un área aproximada $0,7 \text{ cm}^2$ y se encuentra acoplada a través de los huesecillos a la ventana oval, que es mucho más pequeña y mide alrededor de $0,03 \text{ cm}^2$. El acoplamiento convierte los movimientos del aire compresible, en movimientos de fuerzas mayores necesarias para poner en movimiento la perilinfa acuosa del oído interno representando una transformación de presión. Debido a este mecanismo, la fuerza por unidad de área es incrementada aproximadamente 15 veces, mientras que la amplitud de vibración varía muy poco.

Una segunda función importante del oído medio es proteger la exquisita estructura del oído interno de movimientos excesivos. Con sonidos de niveles bajos, los movimientos del estribo se asemejan a los de un pistón. Con un sonido de nivel moderado, el eje de rotación del martillo y el yunque es tal, que el estribo se balancea aproximado a un eje vertical en un extremo de la ventana oval. Este movimiento es análogo al movimiento de abrir y cerrar una puerta. Este movimiento es análogo al movimiento de abrir y cerrar una puerta.

Por otro lado, sonidos fuertes y de baja altura, causan cambios en el eje de rotación, ya que el mayor eje es el horizontal a través de la ventana oval. Bajo esta condición un extremo va y el otro viene evitando excesivos movimientos del fluido dentro de la cóclea, proporcionando con estos movimientos un mecanismo protector que puede ser cambiado instantáneamente. Este provee un medio de protección al oído interno de sonidos transientes como explosiones, los cuales ocurren mucho más rápidamente que para cualquier mecanismo reflejo.

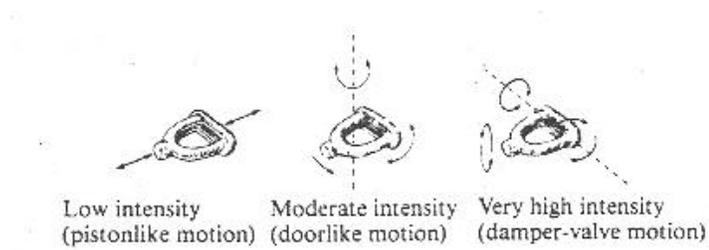


Figura 5.1.3: Modos de vibración del estribo

Otro medio de protección en el oído medio es la acción refleja de los músculos, los cuales funcionan de manera parecida al parpadeo del ojo. El *tensor timpánico* actúa tirando al martillo y tímpano en el oído medio, como el nombre lo implica. El *músculo estapedial* tiende a tirar al estribo fuera de la ventana oval, por lo tanto, los dos músculos actúan juntos, rechazando vibraciones de baja frecuencia y ayudando a proteger al oído interno. Sin embargo, por sobre los 2000 Hz, este mecanismo provee escasa protección y además el tiempo de respuesta de este reflejo se encuentra dentro de los 50 milisegundos hasta aproximadamente un 1/6 de un segundo (aproximadamente 166 milisegundos). Por lo tanto, este mecanismo proporciona un pequeño valor de protección al oído interno ante explosiones o bombas, permitiendo que la pérdida auditiva sea una realidad.

Otra estructura que se agrega al oído medio es la Trompa de Eustaquio que permite una adecuada ecualización de presiones entre el oído medio y el exterior.

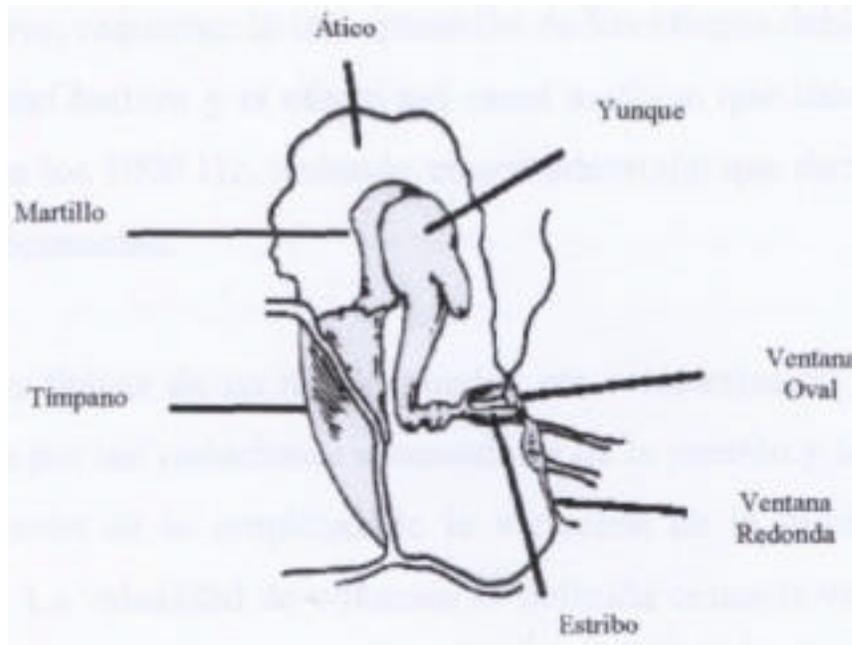


Figura 5.1.4: Fisiología del Oído Medio.

Propagación del Sonido en el Oído Medio

El sistema auditivo es un mecanismo que opera sobre un rango notable. La medición común de la energía o nivel de estímulo acústico, es el decibel (dB). El decibel medido es igual a $10 \log (E/E_r)$, ó 10 veces el logaritmo de la razón de la energía de una señal a la energía de referencia. Usualmente se mide en rangos de presión en vez de energía, correspondiendo la medición a $10 \log (P/P_r)^2$, donde “P” es la presión medida y “Pr” es la presión de referencia. La presión de referencia más usada es 0,0002 [dinas/cm²], o bien, 0,00002 [N/m²], la cual es muy cercana al umbral auditivo humano a 1 KHz. Los niveles medidos y relativos a esta referencia están dados en decibeles como “Nivel de Presión Sonora”. Para los estímulos en la región de máxima sensibilidad auditiva (2KHz a 4KHz), el rango de niveles entre el umbral auditivo y umbral del dolor es alrededor de 120 dB, o bien, un rango de energía de 1 millón de millones y en el rango de presión es de 1 millón.

Existen varias maneras para especificar el estímulo acústico. Estudios experimentales, donde la especificación exacta es muy importante, prefieren conocer la señal de presión en la membrana timpánica. Otras mediciones tales como la presión sonora en campo libre o en la entrada del canal auditivo, requieren la incorporación de los efectos debido a la difracción sonora causada por la cabeza del auditor y el efecto del canal auditivo que incorpora una resonancia de tono ancho alrededor de los 3000 Hz, teniendo en consideración que dichos efectos son de mayor importancia en altas frecuencias.

Las propiedades físicas de un medio pueden ser caracterizadas por la "Impedancia". La Impedancia es definida por las variaciones sinusoidales de la presión y la velocidad de partículas; donde es igual a la razón de la amplitud de la variación de la presión, a la amplitud de la velocidad de volumen. La velocidad de volumen es definida como la velocidad de partículas por el área a través del cual el sonido se propaga. En general la impedancia tiene una magnitud y fase, o sea, representa una cantidad compleja.

Por ejemplo, una onda sonora no se transmite completamente entre superficies límites de diferentes impedancias, ya que parte de la onda incidente es reflejada. La cantidad de reflexión depende de las distintas impedancias. Un caso puede ser verificado cuando se está nadando con los oídos sumergidos en el agua, donde la audición del sonido aéreo es muy dificultosa. Las distintas impedancias entre el aire y el agua es tal, que sólo el 0,1 % de la energía incidente es transmitida a través de la superficie límite y el resto de la energía es reflejada.

Como se menciona anteriormente, existe un problema de acoplamiento de las distintas impedancias en la transmisión de la energía sonora aérea a la cóclea, la cual tiene muy alta impedancia. Cuando ambas impedancias son resistivas, se puede mostrar que la razón de la energía transmitida (E_t) a la energía incidente (E_i) es:

$$\frac{E_t}{E_i} = \frac{4r}{(r+1)^2}$$

En la cual r es la razón de las impedancias. La razón entre las impedancias para un animal como el gato, determinado experimentalmente, es 10^4 . Para esta ecuación es claro que la diferencia podría causar una pérdida de 35 (dB). Por lo tanto, una de las funciones de la membrana timpánica y los delicados huesos del oído medio que provee el vínculo mecánico entre la membrana timpánica y el estribo, es el efecto de una igualdad de impedancias.

Por otro lado, existen 3 factores que causan una presión más baja en la membrana timpánica que en la base del estribo y además una mayor velocidad de volumen:

1. El mayor factor es la diferencia de las áreas entre la membrana timpánica y el área de la base del estribo,
2. El segundo factor es el sistema de palanca que conforman el martillo y el yunque,
3. El tercer factor es la influencia que resulta de la curvatura de la membrana timpánica y la manera como vibra.

El mecanismo de vibración de la membrana, fue formulado primero por Helmholtz hace más de cien años. Recientemente, el esquema de Helmholtz fue rechazado a favor de la idea que a bajas frecuencias la membrana timpánica se mueve como un todo rígido, como un plato abisagrado.

El mecanismo del oído medio en el hombre, muestra 2 resonancias una principal alrededor de los 1200 Hz y una segunda a los 800 Hz. A frecuencias aproximadas por sobre los 3000Hz, el patrón de vibración del tímpano se dispersa en subpatrones cuasi-independientes. Además dicho mecanismo contiene 2 músculos: (1) el músculo del tensor timpánico, el cual está inserto sobre el manubrio del martillo y (2) el músculo del estribo, el cual está inserto en el cuello del estribo.

La excitación del músculo tensor timpánico, estira el manubrio del interior del martillo, resultando en un movimiento del tímpano. La excitación del músculo del estribo mueve a éste, pero no resulta en un movimiento significativo del tímpano. Cuando la movilidad y las propiedades de transmisión del mecanismo del oído medio son consideradas, los 2 músculos actúan sinérgicamente (actuando ambos para hacer una sola función). La acción de los músculos causa un cambio ascendente en la resonancia principal del mecanismo del oído medio resultando en una pérdida en la transmisión para las bajas frecuencias, de este modo, los músculos proveen un mecanismo de protección produciéndose una atenuación aproximada de 40 (dB) en la excitación de la cóclea para frecuencias por debajo de los 1000 Hz. Este acción refleja puede marcar la diferencia entre la pérdida auditiva permanente y un cambio temporal del umbral cuando existe una exposición a un campo sonoro intenso.

Los músculos del oído medio son activados reflejamente por sonidos intensos. En el hombre el umbral de activación es mayor que 70 (dB) por el umbral de la audición y la contracción de los músculos crece con estímulos crecientes (niveles de presión sonora más altos) sobre un rango adicional aproximado de 30 (dB). La sensibilidad del reflejo es más grande para exposición directa en ambos oídos, más pequeño para el caso contralateral e intermedio para la estimulación ipsilateral (igual para ambos lados).

Los músculos pueden contraerse en ausencia de sonidos intensos, este fenómeno ha sido observado y demostrado en un gato tenso y expectativo observando un ratón. En humanos, los músculos se contraen durante el periodo profundo del sueño (estado REM).

Además el reflejo no proporciona protección para muchos sonidos cortos e intensos como disparos de armamento, ya que la capacidad de reacción del reflejo es de 40 a 160 milisegundos. El autor Békésy, mostró que a muy altos niveles de presión sonora el modo de vibración de la cadena de huesecillos del oído medio cambia, moviéndose como un solo bloque, reduciendo así el volumen de desplazamiento del fluido de la cóclea. Este es un mecanismo de acción rápida que suple al reflejo del oído medio a favor de la protección de la cóclea.

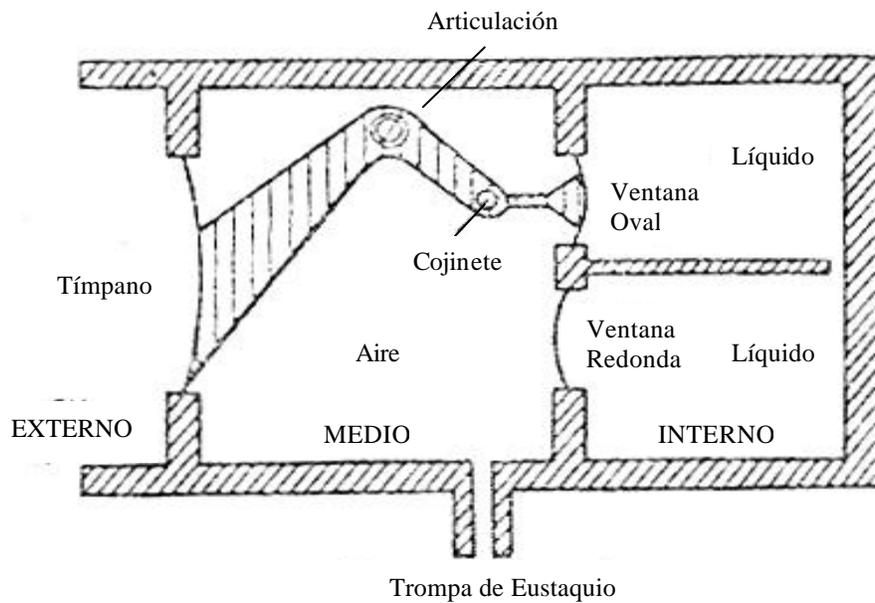


Figura 5.1.5: Representación diagramática de la transmisión de las vibraciones del oído externo al oído interno.

5.2 Publicaciones

5.2.1 ORGANIZACIÓN DEL TRATADO DEL ATLÁNTICO NORTE (OTAN) [4]

Organización de Tecnología e Investigación.

Riesgo de Daño Auditivo para el Ruido Impulso

Introducción

El criterio de medición del ruido continuo está conforme dentro del ámbito internacional representado por la Organización de Estándares Internacionales (ISO), pero no existe un acuerdo entre las naciones para la medición y la evaluación del ruido impulsivo. La medición del ruido impulsivo ha sido una herramienta para determinar el riesgo auditivo del personal militar y material, el cual puede ser producido por un armamento o una explosión.

El fenómeno del ruido impulsivo cae fuera de la acústica, mas bien, en la categoría de dinámica de fluidos, dinámica de gases y ondas de choque. En las ondas de choque, la presión, la velocidad, la densidad y la temperatura de las partículas de aire, crecen rápidamente desde valores pequeños. En el caso de disparos o explosiones, detona un gran volumen de gas caliente que es liberado a la atmósfera. Esta rápida expansión de los gases, inicia una onda de presión que toma forma de onda de choque. El choque mueve el aire a velocidades supersónicas y con el aumento de la distancia la velocidad decae a la velocidad del sonido. Detrás del frente del choque ocurre una caída de la presión exponencial seguida por una fase negativa de amplitud más baja.

El ruido impulsivo de forma ideal es, por lo tanto, un pulso de doble lado de nivel acústico alto y de intervalo extremadamente corto. Esta energía es frecuentemente alta como para producir empeoramiento auditivo en un oído desprotegido. En otros casos puede producir daño en otras partes del cuerpo como pulmones, tráquea, estómago, etc. o en la destrucción de estructuras no humanas.

Los parámetros cuantificables dentro de una evaluación del posible daño al personal militar y material, son los siguientes:

- ❑ Nivel sonoro peak,
- ❑ Tiempo de elevación,
- ❑ Tiempo de duración,
- ❑ Espectro de ruido impulso,
- ❑ Energía de ruido impulso.

Todo lo conocido acerca del criterio de evaluación física internacional está basado en presión acústica y el tiempo de elevación.

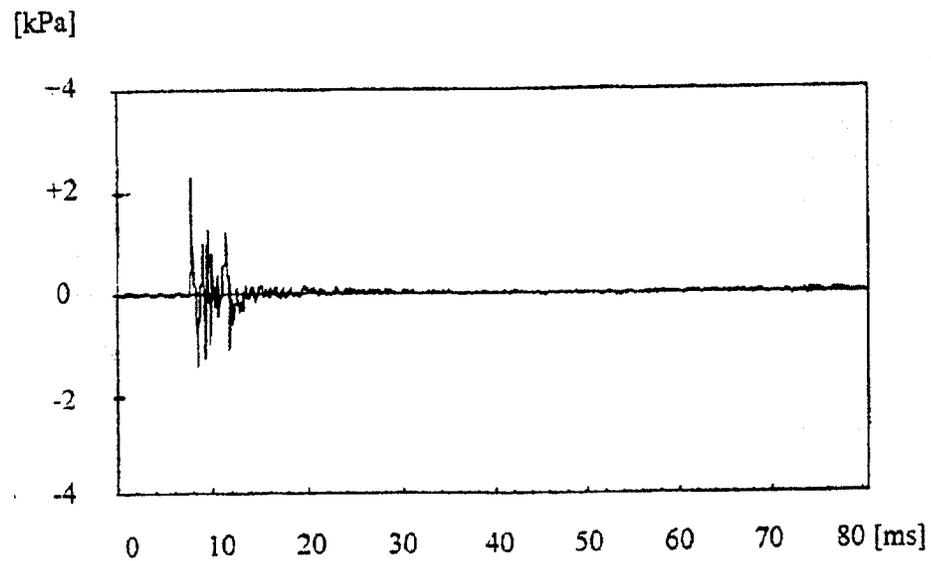


Figura 5.2.1.1: Historia de presión – tiempo de un impulso típico de un rifle. Presión acústica como una función del tiempo.

Presión Acústica

Para la evaluación física de ruido impulsivo es necesario considerar el historial de presión-tiempo. Los ruidos impulsivos que son estudiados en consideración a los efectos dañinos en la audición, son caracterizados por la porción positiva ($p_A + p$), la cual es más grande que la presión negativa ($p_A - p$), donde p es la presión del ruido y p_A la presión atmosférica. La presión negativa puede alcanzar presión cero (vacío), mientras que la otra, la positiva, alcanza el nivel de presión peak más alto. En campo cercano los valores de presión peak pueden alcanzar aproximadamente 200 Pa (140 dB) para armas livianas y para superiores hasta 60 KPa (aproximadamente 190 dB). Este último valor es considerado como valor límite absoluto en el desarrollo de nuevo armamento.

Tiempo de Elevación

La pendiente de elevación de la presión es muy importante en el riesgo del empeoramiento auditivo para ruido impulsivo, ya que todos los eventos sonoros con energía de choque, pasan completamente por el sistema de transmisión del oído medio, sin atenuación y además son transferidos al líquido de la cóclea donde ellos ejercen tensión en las células ciliadas. El reflejo protector, los músculos el oído medio, no pueden responder a esta tensión debido a la relativa larga latencia de este reflejo. Esto aclara que no solo el nivel de presión sonora, sino también el tiempo de elevación del nivel es esencial en la medición del ruido de ruido impulsivo.

Aunque no es posible la reproducción de la pendiente del tiempo grabado, la historia completa del evento del ruido impulsivo (nivel peak y oscilaciones) pueden ser correctamente grabadas. El tiempo de la fase positiva típica está entre 0,1 y 5 ms, donde siempre es más corta que la fase negativa.

Durante la propagación, las partículas se mueven en la dirección de la presión positiva y presión negativa, por lo tanto se mueven en direcciones opuestas. Además la velocidad de propagación de la máxima presión es levemente más rápida que la de la presión mínima, y ésta a

su vez es levemente más lenta que la velocidad del sonido. Ambos efectos, la propagación en el medio y la dependencia de la temperatura de la velocidad del sonido debido a las diferencias de presión, afectan en el cambio de la forma de onda durante la propagación: la máxima avanza, mientras la mínima se queda atrás. El aumento de los efectos que produce la pendiente, se registra varias veces, ya que la onda de choque está en el campo cercano de las armas, donde la densidad de energía sonora es suficientemente alta. Este campo cercano es la posición usual del operario.

Durante una cierta trayectoria de la propagación del sonido (en el orden de 100 m para armas de gran calibre) se forma un frente de choque estable, donde el crecimiento de la pendiente y la absorción de las más altas frecuencias, rápidamente decrecen y el resto de las otras frecuencias decae gradualmente. Como el nivel de presión sonora decrece con la distancia, también decrece el riesgo de daño auditivo.

Duración del Tiempo

La duración del evento del ruido impulsivo, está conformada por los siguientes tipos de tiempos los cuales se detallan a continuación:

1. *Duración A*: Esta duración es cuando comienza la onda y luego pasa o cruza por primera vez el cero, después de la caída del nivel peak. Este tiempo determina la energía máxima del espectro del ruido impulso, la cual no captura la duración de la historia de presión completa después de cruzar el cero. Los valores peak secundarios, que tienen valores más bajos que el primario, pueden independientemente de la composición espectral, causar mayor empeoramiento en el oído interno.

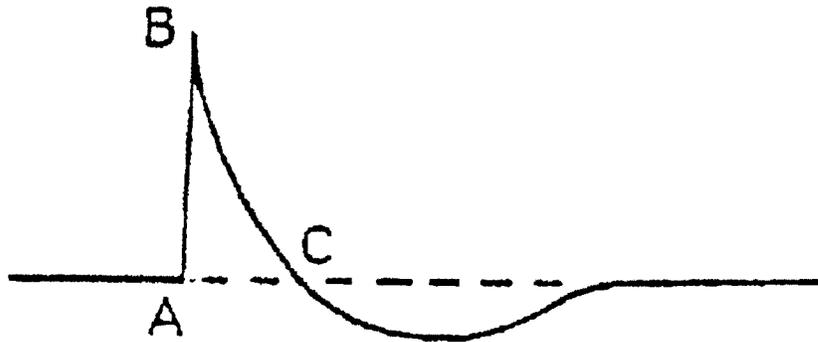


Figura 5.2.1.2: Forma de onda idealizada de un ruido impulsivo. Tiempo de elevación AB; duración A, de acuerdo a la definición del Comité de la Audición y Bioacústica (CHABA): AC.

2. *Duración B* (duración de envoltura de presión): Está compuesta por la duración de la primera porción de un ruido impulsivo, más la duración de las fluctuaciones significativas siguientes. Estas duraciones son consideradas en el intervalo de tiempo, durante el cual la envoltura de las fluctuaciones de presión (positiva y negativa) están dentro de los 20 dB del nivel peak de presión. Entonces la duración es -20 dB antes del valor peak hasta -20 dB después del mismo valor.

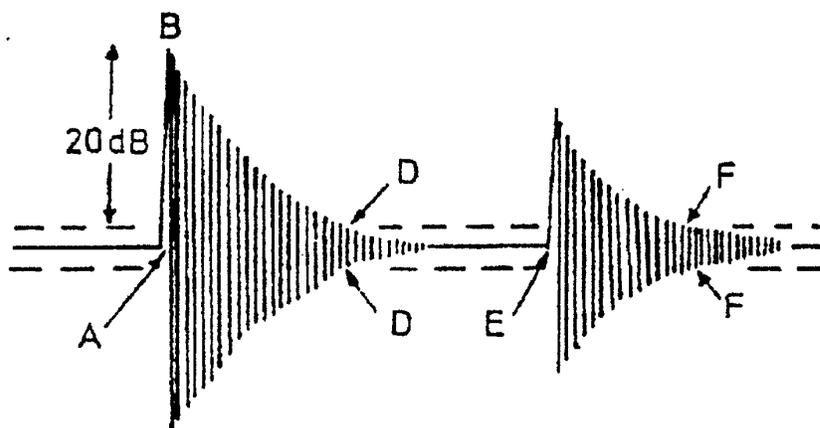


Figura 5.2.1.3: Forma de onda idealizada de ruido impulsivo. Tiempo de elevación AB; duración B de acuerdo con CHABA es AD. Para el caso de reflexiones es EF.

3. En Alemania se analiza el ruido impulsivo con una variación análoga a la duración C, el cual corresponde al valor -10 dB antes del nivel peak hasta el valor -10 dB después del mismo nivel.

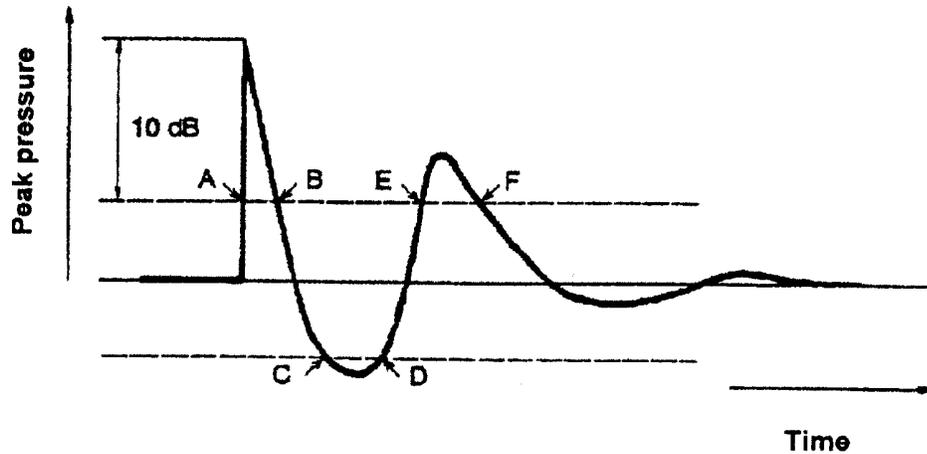


Figura 5.2.1.4: Presión peak de acuerdo a la metodología alemana. Duración C.

El valor “ -10 dB” es equivalente en una escala lineal, a reducir la presión aproximadamente a $2/3$ del valor peak. Los subperiodos siguientes, también se agregan en la línea de los “ -10 dB”.

Esta última duración ha sido exitosa en Alemania, ya que la aplicación de este criterio implica un alto rango de influencias debido a las interferencias que se alcanzan con -20 dB desde el valor peak. El cálculo de las ondulaciones depende también de otros factores, como el patrón de frecuencia de cada ondulación individual: Armas de gran calibre producen mayor cantidad de energía en baja frecuencia y tienen una duración prolongada, porque se marcan más las oscilaciones de post-pulso. Las porciones de baja frecuencia pueden ser capturadas en el cálculo de la duración C, extendiendo la duración del tiempo.

4. *Duración D*. Esta duración es usada en Holanda y es definida como el tiempo de comienzo del ruido impulsivo hasta la caída de la envolvente de la presión al valor 10 dB por debajo del máximo.

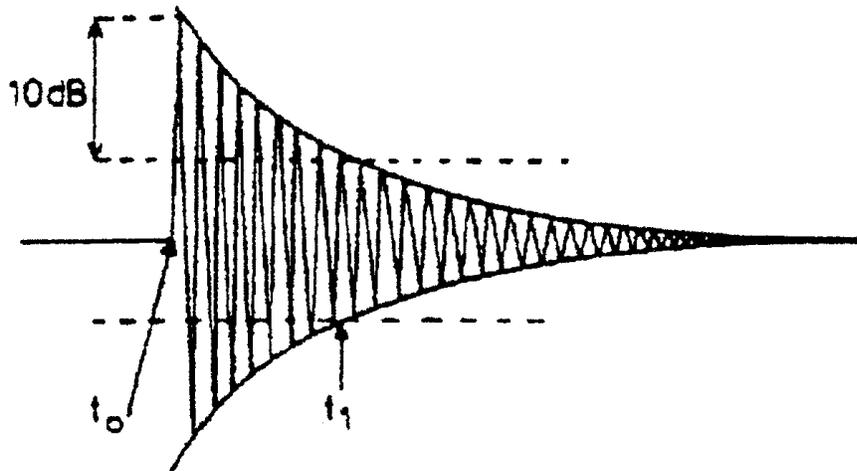


Figura 5.2.1.5: Representación de la duración D: Tiempo de t_0 a t_1

Diagrama esquemático, que representa un resumen para los cuatros tipos de duraciones de tiempo mencionadas:

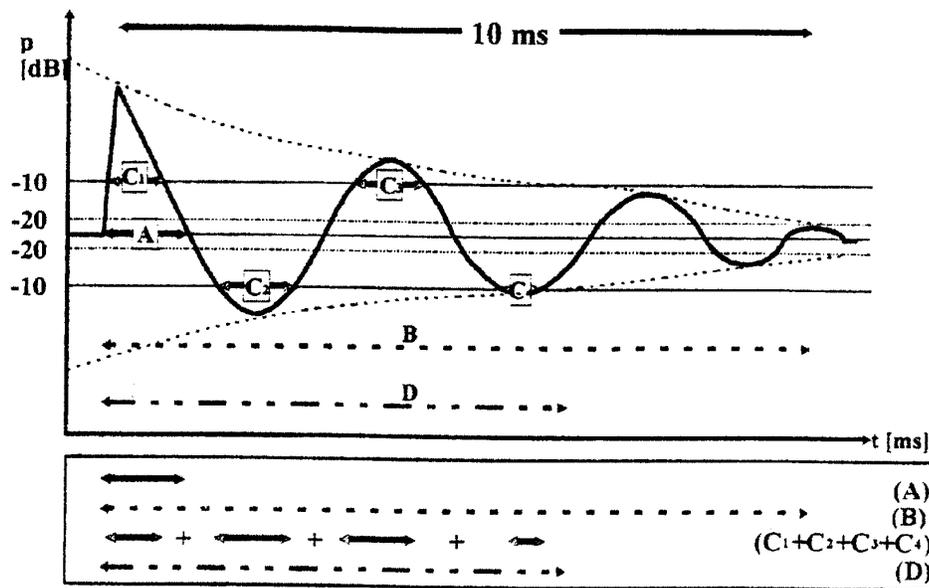


Figura 5.2.1.6: Esquema de los diferentes tiempos de duración: Duración A, B, C y D.

Espectro del Ruido Impulso

En 1946 Furrer, ya había determinado espectros de ruido impulsivo mediante la ecuación de la integral de Fourier. En la siguiente figura se presentan varios espectros de ruidos impulsivos los que muestran que el ancho de banda crece hacia las más altas frecuencias, y que además las amplitudes más pequeñas también están contenidas en este rango, cantidad que en ningún caso debe subestimarse.

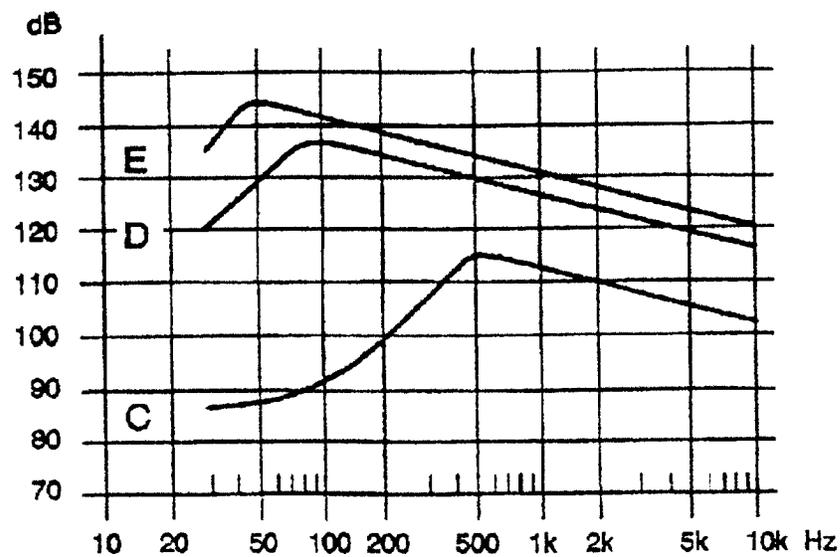


Figura 5.2.1.7: Espectro de ruido impulso resumido en octavas. C: pistola, 0,85 m de distancia; D: revólver 7,5 mm, 5 m de distancia; E: explosión de 4 Kg de TNT, 4 m de distancia.

Respecto a posibles daños causados por el ruido impulsivo, aún no se decide claramente si la descomposición espectral ha de ser ejecutada con ancho de banda constante o intervalos de frecuencias constantes (1/1 ó 1/3 de octava).

Una manera de análisis espectral es mediante computadores aplicando la transformada rápida de Fourier (FFT), la cual provee el espectro deseado desde la señal del tiempo.

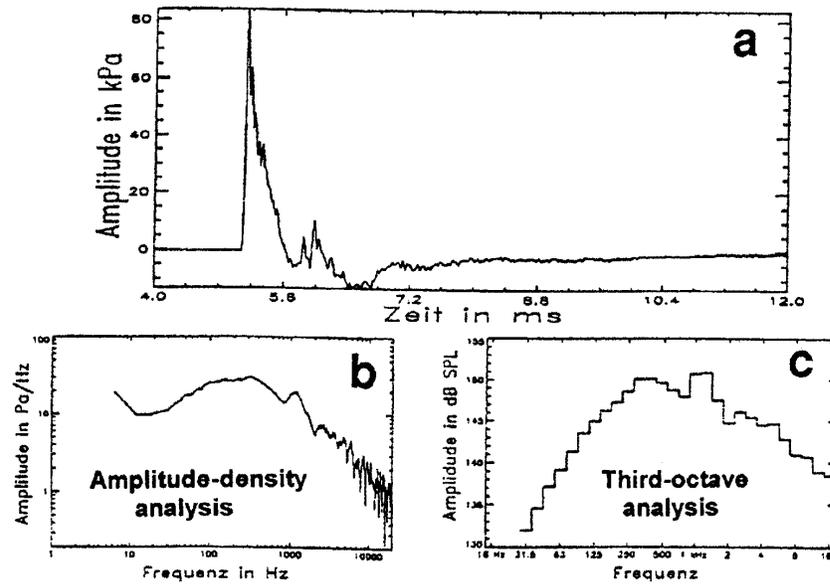


Figura 5.2.1.8: Señal presión-tiempo (a); Con relación a la densidad de amplitud (b) y espectro en tercio de octava (c).

Energía del Ruido Impulsivo

La energía del ruido impulsivo acústico, es la energía por unidad de área la cual es definida como:

$$E = \frac{1}{Z_0} \int_0^T p(t)^2 dt \quad [J/m^2]$$

donde Z_0 es la impedancia acústica característica del aire en $N \cdot s / m^3$, $p(t)$ es el valor instantáneo de la presión acústica en Pa ó N / m^2 y dt es el incremento de tiempo en segundos.

La impedancia acústica está definida como $Z_0 = \rho_0 c$ y ambos factores son dependientes de la presión, así se puede encontrar que para niveles de presión sonora de 160 dB correspondiente a 2000 Pa, Z_0 es igual a $409 N \cdot s / m^3$, mientras que a 20.000 Pa, Z_0 es igual a 492

N s /m^3 . Algunos autores como Brees definen como $Z_0 = 400 \text{ N s /m}^3$. Por otro lado, de acuerdo a la guía para las mediciones de ruido impulsivo para armas, Z_0 es igual a 417 N s /m^3 .

La energía del ruido impulsivo incluye la historia completa de la presión sonora, mientras que el método usado con la evaluación de la presión peak y la duración del tiempo, dejan fuera considerables porciones del ruido impulsivo. Esta es la razón por el cual los resultados pueden estar en una mejor concordancia con el riesgo de un trauma auditivo que el método usado hasta ahora. Sin embargo el criterio límite tiene que ser adaptado para este propósito.

Problemas de la Medición de Ruido Impulsivo de Armas Causado por el Método de Medición

Al momento de medir ruido impulsivo de armamento en campo cercano, el nivel de presión sonora puede ser medido en diferentes posiciones de acuerdo a la ubicación de la fuente sonora: (1) posición vertical (incidencia directa), (2) paralelo (incidencia tangente) ó (3) ubicado hacia atrás con respecto a la fuente (180° desde la posición de incidencia directa).

En el caso de incidencia directa, se realiza la siguiente diferenciación para medir ruido impulsivo con un transductor de presión:

- 1) Presión Estática: Presión que existe antes que se produzca la perturbación (presión antes del ruido impulsivo).
- 2) Presión Dinámica: Presión que resulta de la energía cinética de las partículas del medio golpeando a un transductor de presión y dependiente de la velocidad de la onda de choque.
- 3) Presión Reflejada en la Membrana de un Transductor de Presión: Una presión reflejada siempre resulta cuando la mitad de la longitud de onda o la longitud de onda más pequeña de una porción de presión dentro del ruido impulsivo, iguala al diámetro de la membrana

del transductor de presión. Esto significa que para micrófonos con diferentes diámetros, los rangos de medición serán distintos.

- a. Un micrófono de 16 mm de diámetro es para una medición aproximada hasta 10 KHz.
- b. Un micrófono de 5,5 mm de diámetro es para una medición aproximada hasta 30 KHz.

En el caso de incidencia tangente, solo se mide presión estática. El frente de choque (ruido impulsivo), tan pequeño como el diámetro del micrófono, fluye a través de la membrana de éste excitada solo parte de la presión incidente. Por lo tanto el tiempo de elevación representado del frente de choque es demasiado alto, mientras que la presión peak actual no es alcanzada.

Originalmente fue asumido que el sistema de medición podría ser usado para una medición aleatoria, sin embargo, diferentes pruebas realizadas en el Instituto de Saint Louis, Francia, han mostrado que una medición aleatoria es imposible con diferentes valores peak de presión. Por esta razón tanto en Alemania como en Francia, se acordó una idéntica orientación de los transductores, es decir, con una incidencia sonora de 90°.

5.2.2 “THE HANDBOOK OF HEARING AND THE EFFECTS OF NOISE” [5]

Resumen

Impulsos

Un sonido se define a menudo como "impulsivo", cuando su nivel de presión sonora crece en un tiempo muy rápido y la duración del impulso es menor a 0,5 segundos. Además el tiempo entre impulsos es mayor a 0,5 segundos con respecto al impulso anterior y al sucesor. Conjuntamente para ser considerados como ruidos impulsivos, el nivel de presión sonora debe ser mayor a 10 (dB) por encima del ruido de fondo, de lo contrario se considera como ruido continuo.

La impulsividad está determinada, mayormente, por la relación de fase entre las ondas de los componentes de frecuencia. La relación de fase significa la posición relativa a un punto en el tiempo de los puntos de presión cero de los diferentes componentes de frecuencias en un sonido complejo. Disparos, estampidos sónicos, etc. son ejemplos de sonidos con relación de fase especial entre los componentes de frecuencias. El contenido espectral y el nivel de presión sonora de un impulso, son importantes en el efecto del daño auditivo.

El valor del nivel de exposición a ruido impulsivo de acuerdo con el autor Kryter, se define a partir de la energía efectiva de exposición a este tipo de ruido y la constante sensorial auditiva (0,5 segundos):

$$EL_{Aeq8h} = L_{A0,5s} - 20 \log \left(\frac{T}{57600} \right) \quad [dB]$$

donde $L_{A0,5s}$ es el nivel de presión sonora en ponderación A medida en un intervalo no mayor a 0,5 segundos. Además 57.600 es la cantidad de intervalos de 0,5 segundos en 8 horas y T es el número de intervalos de 0,5 segundos presentes en 8 horas durante la exposición.

Reflejo Auditivo

Los músculos timpánico y estapedial ubicados en el oído medio, mediante el reflejo auditivo, desempeñan un papel importante en la audición cuando existen sonidos muy intensos. El reflejo auditivo puede influenciar los efectos del ruido, enmascarando el nivel de presión sonora y la fatiga auditiva. El músculo timpánico y el estapedial se contraen cuando uno o ambos oídos están expuestos a un sonido que se encuentra alrededor de los 80 dB, a pesar de que la contracción en el oído estimulado directamente es algo más fuerte que en el oído no expuesto.

Algunas personas están capacitadas para activar voluntariamente este reflejo. Estas personas no están aparentemente conscientes de una reducción en el nivel de presión sonora de algunos sonidos, pero ellos pueden escuchar los sonidos hechos por la contracción y relajación de los músculos intrauditivos. En humanos, la acción del reflejo auditivo, está inferida desde:

1. Un incremento del umbral de la audición a diferentes frecuencias debido a una activación del estímulo en el oído contralateral.
2. Mediciones físicas de cambios en el volumen del canal auditivo externo.
3. Cambios en la impedancia acústica del tímpano.

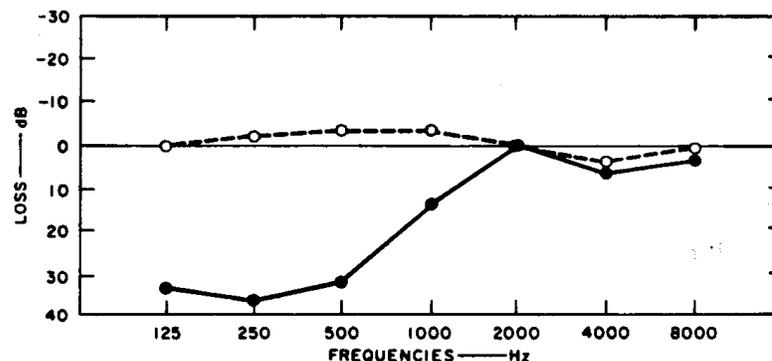


Figura 5.2.2.1: La línea punteada muestra el nivel auditivo promedio de ocho oídos seleccionados. La línea sólida muestra el nivel auditivo promedio de los mismos oídos durante una contracción máxima de los músculos del oído medio. (Reger, 1963).

Cuando el nivel de presión sonora aumenta hasta cierto punto, el grado de contracción se incrementa. Esto sugiere que el reflejo auditivo es más sensible a sonidos de banda ancha que a tonos puros, y es más sensible a más bajas frecuencias que a altas. Luego el reflejo retorna a la normalidad, estando inactivo dentro de un segundo o después de que un estímulo efectivo a terminado.

Para que la adaptación no se deba a la fatiga de los músculos auditivos, el reflejo puede ser reactivado por cambios de estímulos acústicos. El reflejo auditivo se activa y se mantiene fácilmente por intermitencias e impulsos intensos de ruido. El tiempo de reacción del reflejo es aproximadamente de 35 a 150 ms dependiendo del nivel del estímulo. El tiempo que demora en relajarse el reflejo después de un estímulo de ruido impulsivo, es tan largo como 2 a 3 segundos para completar totalmente la relajación, donde la mayor parte de la recuperación ocurre aproximadamente en los primeros 0,5 segundos. El reflejo es involuntario y la excepción ocurre para sujetos especialmente entrenados.

Por lo tanto, pensar que el reflejo auditivo sirve para endurecer el movimiento de los huesos del oído medio es razonable. Esto ocurre, afectando la transmisión de los sonidos mayoritariamente por debajo de los 2000 Hz (ver figura 5.2.2.1), por ende la mayor resistencia en la exposición a este tipo de ruidos se produce en este rango de frecuencias.

Los autores Fletcher y Riopelle en 1960, estimularon al reflejo con un click y un ruido, presentado 200 ms antes de exponer al oído a ruido impulsivo de un disparo de una pistola. Ellos midieron los cambios de umbral, los cuales fueron temporales, después de 200 rondas de tiro. La figura 5.2.2.2 muestra que el reflejo auditivo ofreció aproximadamente 15 dB de protección desde el cambio de umbral temporal (TTS). Alguna cantidad similar de protección de TTS por reflejo auditivo fue obtenida por Fletcher en 1961 y Fleer en 1963.

Se sugiere entonces, que el papel principal de este reflejo es mantener la linealidad de transmisión por la cadena de huesecillos para componentes de alta frecuencia cuando son además asociados a componentes de baja frecuencia. El autor von Békésy propuso que (1) el desplazamiento de la cadena de huesecillos tendería a llegar a ser más grande para bajas

frecuencias para un nivel de presión sonora de entrada; (2) esto lo causaría el músculo estapedial, principal músculo adjunto a la cadena de huesecillos; y (3) como resultado, la cadena de huesecillos sería forzada a “traquetear” o al menos causar distorsión en la transmisión de sonidos de frecuencias más altas hacia la cóclea.

Esta teoría ofrece una buena explicación del porque el reflejo auditivo atenúa las frecuencias más bajas (≤ 1000 Hz) y no a las frecuencias más altas a las cuales el oído es más sensible.

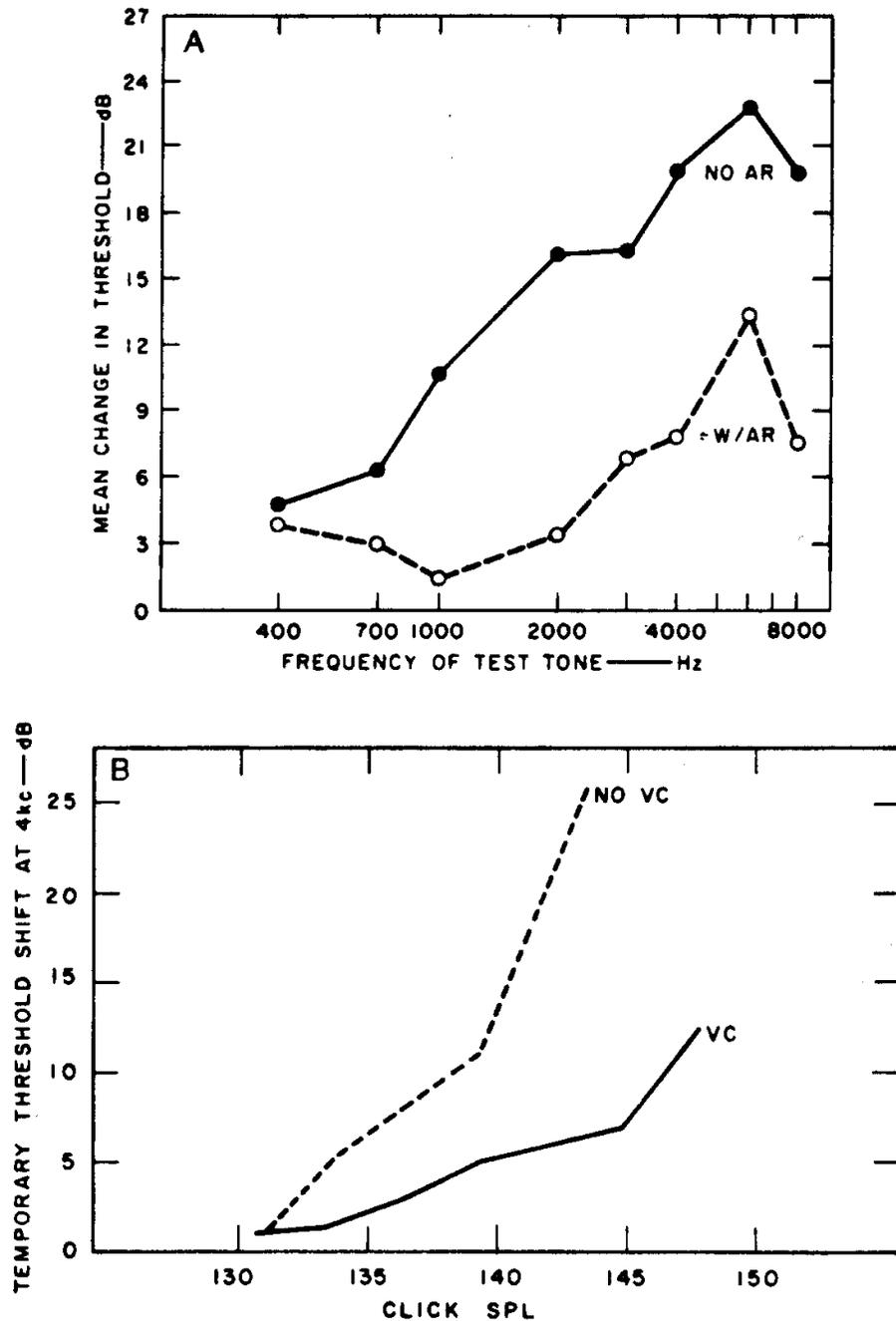


Figura 5.2.2.2: (A) Cambios de umbral temporales medios (TTS), en decibeles a varias frecuencias para dos condiciones experimentales: W / AR - con reflejo auditivo; No AR - sin reflejo auditivo. (De Fletcher y Riopelle, 1960. Derechos de autor 1960 por la Asociación Psicológica Americana. Adaptada por permiso del autor.) (B) Crecimiento promedio de TTS con exposiciones sucesivas a niveles de pulso creciente con y sin contracción voluntaria (VC) de los músculos del oído medio. La atenuación producida por contracción voluntaria (VC) es representada por la cantidad por el cual la función generada con contracción voluntaria es cambiada a la derecha de aquel con "No VC." (De Fleer, 1963).

Reflejo Auditivo en Personas con Pérdida Auditiva

El reflejo auditivo es usado como un medio de diagnóstico de cierto tipo de desorden auditivo. En particular, su ausencia indica dificultades conductivas en el oído medio. Terkildsen en 1960, encontró que personas en una industria con significativa pérdida auditiva como resultado de la exposición a ruidos traumáticos, tienen un poco más débiles los reflejos auditivos que en personas con audición normal.

Por otro lado, Hecker y Kryter en 1964, encontraron que soldados con amplias pérdidas auditivas permanentes, presumiblemente debido a la exposición a disparos, mostraron reflejos auditivos más grandes que los soldados con audición normal. Estas investigaciones también encontraron que los hombres con mayor actividad de los reflejos, mostraron menos cantidad de TTS sobre la exposición a disparos, que fue exhibida por hombres con reflejos auditivos pequeños; sin embargo, estas diferencias pueden haber sido porque la sensibilidad decrece (amplias pérdidas auditivas permanentes) del grupo anterior relativo a los más recientes.

El reflejo auditivo es un parámetro de interés primordial, ya que es un factor potencial en el posible retardo de la pérdida auditiva inducida por la exposición a ruido.

CAMBIO DE UMBRAL TEMPORAL Y PERMANENTE PREDICHO PARA RUIDO DE ARMAS [5]

El ruido de armamento es quizás el único en su tipo, que puede alcanzar niveles aproximados de 100 dB(A) en la exposición, no solamente causando un cambio permanente en el umbral del oído, sino también sobrecargando y dañando el sistema auditivo en forma especial.

Ruido de Arma

El uso de armamento deportivo o militar es un factor importante en la evaluación del cambio permanente del umbral en el oído, donde los parámetros considerados dentro de la medición son: el nivel de presión de exposición, espectro y separación entre cada impulso.

En la mayor parte de los estudios realizados en el ámbito de la exposición a ruido de armamento, se consideró el cambio temporal del umbral auditivo (TTS), como la diferencia entre el nivel auditivo de postexposición y el nivel auditivo de preexposición.

Al realizar una comparación entre la exposición de un individuo a fuentes de ruido impulsivo en la industria con la exposición a un armamento, se puede observar que las fuentes en la industria presentan un tamaño de fuente mayor que la del armamento. Por lo tanto, se considera que existen reflexiones desde todos lados en la industria, indicando de esta forma una tendencia a la pérdida auditiva bilateral.

En el caso de rifles, la fuente es puntual y se considera un diámetro aproximado de 1,4 cm, un metro de largo y 45° desde el oído cercano de un tirador (oído izquierdo de un tirador derecho).

En el libro del DR. Kryter, se indica un estudio donde se midieron diferentes frecuencias a la entrada del canal auditivo de un individuo tirador derecho, o sea, las mediciones se realizaron en el oído izquierdo y en campo libre. La figura 5.2.2.3 muestra la diferencia entre los niveles

encontrados a distintos grados de ubicación enfrentando la fuente (0°). Las diferencias son atribuidas a la difracción sonora alrededor de la cabeza y resonancias del canal auditivo.

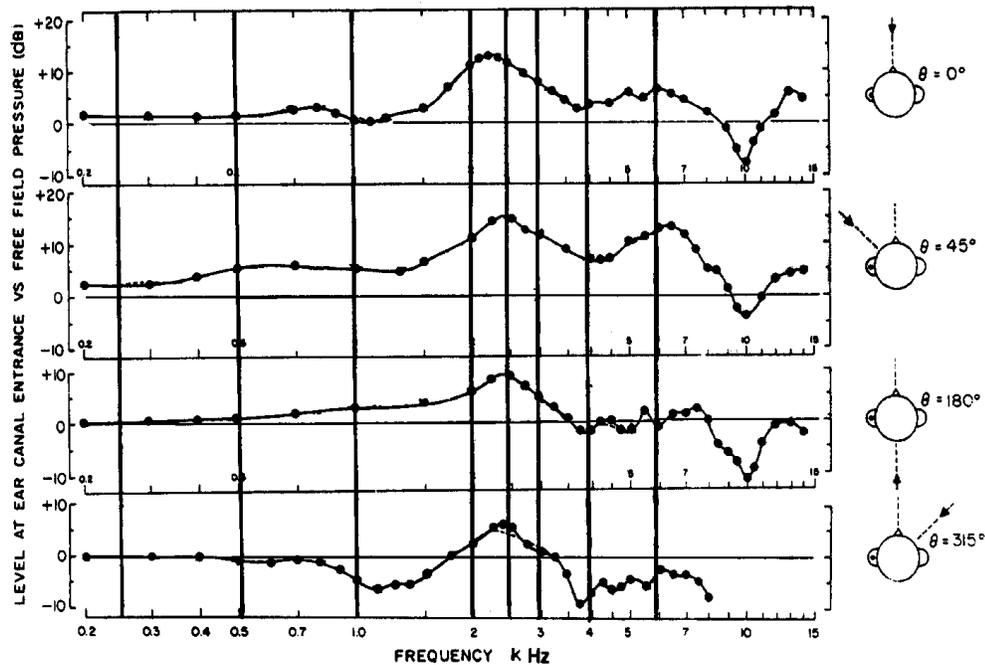


Figura 5.2.2.3: Diferencias entre niveles de presión sonora a la entrada del canal auditivo izquierdo y campo libre como función de la frecuencia y para cuatro ángulos de incidencia desde la fuente (0°).

La diferencia entre los ángulos de medición de 45° (oído cercano) y 315° (oído lejano) fue aproximadamente de 10 dB. Estos últimos 10 dB explican porque el oído cercano de los cazadores usando armas de hombro, tuvo pérdida más significativa que el oído lejano. Para el caso en que fue analizado a personal militar en condiciones de disparos, la pérdida fue muy similar para ambos oídos, debido a la exposición a ruido de armas de mano, como pistolas o revólveres.

Hipótesis de Sobrecarga de Alto Nivel del Oído

Existe un nivel en el cual el cambio de umbral permanente inducido por ruido crece más rápido que por de bajo de ese nivel. El autor Dieroff en 1980, estimó este nivel peak en 150 dB,

encontrando un rápido crecimiento en el daño en el oído interno, que el esperado para un ruido por debajo de ese nivel.

El autor Kryter, propone que este límite es 160 dB(A) para el ruido de armas. Esta sugerencia fue basada en el crecimiento del cambio de umbral temporal (TTS) del nivel auditivo esperado sobre ese nivel, comparado con el crecimiento del cambio temporal del umbral del nivel auditivo por debajo de 160 dB(A).

Transmisión Sonora por los Huesecillos

El oído medio humano presenta características no lineales en la respuesta a niveles sonoros altos. El tímpano muestra linealidad hasta los 140 dB de nivel de presión sonora y la cadena de huesecillos hasta los 130 dB.

Algunos autores como von Békésy en 1960, observó que a niveles de presión sonora de entrada de 130 dB, se produce un desplazamiento vertical de la base del estribo de la cadena de huesecillos y hasta los 140 dB hay un modo rotacional de desplazamiento en la base del estribo. Según este autor, el desplazamiento del líquido en la cóclea sería minimizado, reduciendo la eficiencia en la transmisión sonora a través del oído medio. Todo lo descrito ofrece protección al oído interno en el caso de exposición a ruidos de nivel de presión sonora muy elevados.

Tímpano

Para el caso de ruidos muy intensos por sobre 160 dB(A), típicamente ruido de armamento, el tímpano puede llegar a romperse. Tal ruptura aparece para ofrecer un tipo de protección al oído interno cortando la cadena regular por el cual el ruido viaja hacia el oído interno.

5.2.3 DECIBEL SUDAMERICANA [6]

Resumen “Mediciones y Evaluaciones Acústicas”

Ruido Impulsivo

Los ruidos impulsivos presentan problemas tanto para la medición como también para la evaluación en el riesgo auditivo. A pesar de la corta duración que los caracteriza, los niveles sonoros peak involucrados son determinantes en el valor final del *Nivel Sonoro Continuo Equivalente*, si se evalúa de la misma forma que los ruidos continuos.

Esto se puede verificar mediante el valor del *Nivel Sonoro Continuo Equivalente*, manteniendo la condición de mantener la dosis en 90 dB(A) para 8 horas de acuerdo a la siguiente fórmula expresada en segundos, modificada de su análoga en horas:

$$t_p = 28.800 \times 2^{\frac{(90-L)}{3}} \quad (s)$$

Estos tiempos permitidos por jornada se ajustan al apartado 2 del Anexo V al capítulo 13 del Decreto 351/79 cuando dice: “*Por encima de los 115 dB(A) no se permitirá ninguna exposición sin protección individual ininterrumpida, mientras dure la agresión sonora. Asimismo a niveles mayores de 135 dB(A), no se permitirá el trabajo aún con el uso obligatorio de protectores auditivos individuales*”.

Los instrumentos comunes para medir niveles de presión sonora, los considerados según la IEC 651: 1979, presentan dificultades para medir variaciones rápidas de los niveles de presión sonora, ya que la velocidad de respuesta que contienen es limitada. Por este motivo cuando se mida niveles sonoros impulsivos deben considerarse instrumentos que estén de acuerdo con la IEC 804: 1985; que son equipos integradores y además cuentan con respuestas significativamente superiores que los instrumentos convencionales.

Los tiempos de respuesta de los equipos son los siguientes:

- ❑ Lento: 1 segundo.
- ❑ Rápido: 125 milisegundos.
- ❑ Impulso: 35 milisegundos.
- ❑ Peak: menor que 0,1 milisegundos.

No solamente el tipo de equipo de medición es una particularidad dentro de los ruidos impulsivos, sino que también el conjunto de parámetros que los definen. Estos tienen que ser asimilados con su capacidad de hacer daño en el sistema auditivo, así como lo hace el nivel sonoro continuo equivalente en los ruidos continuos.

La siguiente tabla muestra los tiempos permitidos de acuerdo al Decreto 351/79, para niveles sonoros elevados típicos de los ruidos impulsivos:

Tabla N°1: Niveles sonoros de exposición versus tiempo.

Nivel Sonoro [dB(A)]	Tiempo [s]
115	89,3
116	70,9
117	56,3
118	44,6
119	35,4
120	28,1
121	22,3
122	17,7
123	14,1
124	11,2
125	8,9
126	7,0
127	5,6
128	4,4
129	3,5
130	2,8
131	2,2
132	1,8
133	1,4
134	1,1
135	0,9

En el caso de los ruidos continuos los valores del nivel de presión sonora, espectro de frecuencia y duración son necesarios para evaluar el riesgo de daño auditivo. Pero para el caso de ruido impulsivo se debe agregar también el valor peak, velocidad de crecimiento, tiempo de decrecimiento y cantidad de pulsos en un tiempo determinado. También se debe tener en cuenta las características propias del recinto donde se producen estos impulsos, ya que pueden ser de características de alta reverberación donde la energía del impulso demora más en decrecer, y además se debe considerar recintos con características absorbentes del ruido, ya que el valor peak decae muy rápido.

El efecto del ruido impulsivo aumenta con el valor peak. El valor del cambio temporal de umbral en la audición, aumenta casi linealmente con el tiempo de exposición, resultando proporcional a la cantidad de impulsos más que al tiempo total en que los impulsos estuvieron presentes. Se sugiere que se produce la mayor cantidad de cambio temporal de umbral, cuando el tiempo entre cada impulso es aproximadamente 1 segundo.

Ciertos trabajos indican que existe un valor mínimo al cual comienza el daño auditivo a causa del ruido impulsivo y se han propuesto varios índices compensados. Se acepta que existe un valor peak mínimo en el cual comienza el daño auditivo a causa del ruido impulsivo y se estima en 140 dB. Estos índices incluyen la duración del impulso en su cálculo como valor de Nivel Sonoro Continuo Equivalente Impulsivo: L_{AIm} . Este valor tiene una definición similar a la de su análogo no impulsivo, salvo por la condición de emplear los valores registrados con la respuesta “impulso”.

$$L_{AIm} = \frac{1}{t} \int_0^t 10^{\frac{L_{AI}}{10}} dt$$

donde t es la duración de la medición y L_{AI} es el nivel sonoro en dB(A).

A partir de esta ecuación se puede establecer la suma finita para el cálculo de L_{AIm} resultando:

$$L_{AIm} = \left[\frac{1}{t} \sum_{i=1}^n t_i \times 10^{\frac{L_{AIm}}{10}} \right]$$

Las mediciones entre Nivel Sonoro Continuo Equivalente y L_{AIm} , son iguales pero empiezan a divergir cuando se presentan componentes impulsivas.

Es importante destacar, desde el punto formal de la legislación argentina (Decreto 351/79), que es lo que se entiende por ruido impacto, impulsivo y su evaluación. Se dice que son ruidos de impacto, aquellos con crecimiento casi instantáneo, decrecimiento exponencial y una frecuencia de repetición menor a 10 por segundo. El criterio es que el valor peak no debe superar los 115 dB(A) medido en respuesta impulsiva. Si sólo se dispone de medidor común, se debe medir en respuesta rápida agregando un factor de corrección de 10 dB(A) al valor obtenido con el instrumento de medición. Estudios han demostrado que el criterio de agregar un factor de corrección a la medición hecha con respuesta rápida, no es de fiable para evaluar el valor peak de un ruido impulsivo.

El mismo escrito describe a estos ruidos como aquellos que tienen una duración menor a 50 ms. La evaluación considera además, la duración y frecuencia de aparición.

Los ruidos impulsivos también producen molestias por la aparición inesperada que resulta de su presencia.

Respecto a los ruidos intermitentes como intermedios entre impulsivos y continuos, no existe concordancia con respecto en los efectos en la audición, pero al parecer cuando se trata de interrupciones relativamente prolongadas con respecto al tiempo en que el ruido discontinuo está presente, el riesgo es menor que una exposición a ruido continuo que contiene la misma cantidad de energía sonora durante el mismo periodo total de tiempo. Como método de protección, parece razonable medir nivel sonoro continuo equivalente, teniendo la precaución de medir en un lapso que contenga la presencia y ausencia del ruido en cuestión.

5.2.4 Libro “ACOUSTICS AND NOISE CONTROL” [7]

Resumen

La Medición de Ruido Impulsivo

El tiempo de promediación del modo “fast“ es 1/8 de un segundo, pero sonidos impulsivos como explosiones y disparos tienen una duración mucha más corta, usualmente unas pocas décimas de milisegundos. Es obvio que fast no es un modo adecuado para medir tales ruidos, pero ¿cómo puede ser medidos?, ¿Cuál es la característica más importante de tales ruidos? ¿Es el valor peak de la presión sonora? ¿Es así la duración del impulso? ¿O es una combinación de ambas, tales como la energía sonora contenida en un impulso?. Muchas investigaciones han sido y continúan para ser abordadas en la forma en la cual el oído humano responde a sonidos de muy corta duración.

Basado en hallazgos de alguna investigación temprana, de acuerdo a la respuesta humana a sonidos impulsivos, un estándar de circuito promediador impulsivo ha sido introducido en algunos sonómetros. El circuito incrementa la exactitud de la medición del nivel de presión sonora con un tiempo de promediación de 35 ms. El valor máximo de la señal promediada con respuesta impulsiva se detecta y decae con una constante de tiempo de 1,5 segundos, permitiendo suficiente tiempo para leer el nivel de presión sonora en el medidor.

Todos los modos de promediación, slow (S), fast (F) e impulse (I), dan la misma lectura para sonidos estables y constantes. Para un sonido único de corta duración el modo impulso dará una lectura más alta en el medidor que el modo fast, el cual es más alta que el modo slow. Algunos medidores del nivel de presión sonora impulsivo, también tienen un detector de valor peak verdadero de la forma de onda de la presión sonora. Por conveniencia, ambos modos “impulse” y “peak” puede ser también equipado con la característica de mantener la medición (hold), lo cual permite observar la máxima lectura obtenida.

Para una señal de tono puro, el valor peak será 3 dB más alto que el valor peak ponderado. Para una maquinaria de ruido no impulsiva (taladro, ventiladores, motores, etc.) esta diferencia se

incrementa alrededor de 10 dB, pero para ruidos impulsivos de prensa golpeadora, disparo, etc., el valor peak puede ser hasta 25-30 dB o más sobre esa medición usando la ponderación “impulse”. Se debe evitar la confusión entre el nivel de presión sonora peak verdadero, el cual representa el valor peak de la forma de onda de la señal no ponderada que ocurre antes del proceso de paso por los circuitos de ponderación, RMS y los varios niveles máximos disponibles en ciertos sonómetros digitales. Estos últimos son los valores máximos de la señal RMS ponderada en frecuencia, los cuales han sido promediados con las respuestas fast o slow.

Mediciones precisas del valor peak, obviamente, requieren un circuito de medición con un tiempo de respuesta muy rápido. Las mediciones de niveles de presión sonora peak son llevadas a cabo por un circuito detector con un tiempo promediador menor que 50 μ s, el cual es mucho más pequeño que los otros tres (lento, rápido e impulso). La exactitud del valor peak también depende del ancho de banda de la señal, ya que los impulsos contienen una banda ancha de componentes en frecuencia. Por esta razón es importante que las mediciones peak no sean llevadas a cabo en una señal ponderada A. Sin embargo, algunos sonómetros tienen ponderación C en vez de lineal, el cual no es definido por cualquier estándar. Muchos niveles de presión sonora altos de muchos sonidos impulsivos, tales como disparos o explosivos, pueden causar daño auditivo permanente, incluso sobre duraciones muy cortas.

5.2.5 Libro “NOISE AND VIBRATION COTROLS” [8]

Resumen

CRITERIO DE RIESGO DE DAÑO PARA LA AUDICIÓN

Criterio para Ruido Impulsivo

El ruido impulsivo es una elevación repentina de presión como los creados por los disparos, explosión de balones o golpes de martillo en el yunque. Estos impulsos pueden ser de características secas (ambiente anecoico) o reverberantes.

El criterio para ruido impulsivo ha sido estudiado, pero no se ha completado la estandarización. Una simple regulación creada por los autores Walsh-Haley, dice que la exposición a cualquier ruido impulso único no debe exceder 140 dB de nivel de presión sonora peak. Dos tipos de equipamiento para medir ruido impulsivo están de acuerdo con esta regulación y son comúnmente aceptados: (1) un osciloscopio de rayos catódicos y (2) un medidor de lecturas peak. Ambos métodos permiten el almacenamiento de los impulsos para lecturas subsecuentes.

La mayor parte de los datos de ruido impulsivo está desarrollado para estudios de disparos, un ejemplo que no es probablemente equivalente a todos los tipos de ruidos impulsivos. Muchas variables hacen que el criterio de conservación auditiva para ruido impulsivo, dificulten la formulación. Algunas variables son los tiempos de elevación y caída del peak, rango de repetición, ambiente y la cantidad de sonido. Si se asume que la cantidad de energía que llega a los elementos sensoriales del oído interno es el factor de control producido por la pérdida auditiva, aparentemente los efectos del ruido impulsivo no serían los mismos como el producido por el ruido estable. Aún cuando los niveles peak son altos, el tiempo de exposición es demasiado corto, ya que la energía peak es muy pequeña. Consecuentemente, cualquier criterio debe estar diseñado para la duración del peak y el número de peaks por unidad de tiempo. Además, si se mira sólo la duración del peak sin tomar en cuenta la duración del sonido, el criterio será demasiado alto. Por consiguiente, cualquier criterio debe considerar ambas duraciones del peak y la duración del sonido, si cualquiera está presente.

Una propuesta tentativa de CHABA (Comité de la Audición y Bioacústica), sugiere un criterio para ruido impulsivo basado en las siguientes figuras. Las características de este criterio de riesgo de daño son los siguientes: (1) La presión peak máxima permitida es 164 dB, sin protección auditiva, para el impulso más corto (25 microsegundos); (2) como la duración crece, el nivel de presión sonora peak permitido decrece en un rango de 2 dB para cada duplicación de la duración, descendiendo al nivel terminal de 138 dB para cada duración AD, duraciones de 200 a 1000 milisegundos; y (3) un similar decrecimiento toma lugar para duraciones AC, excepto que el nivel de presión sonora terminal de 152 dB, se alcanza alrededor de los 1,5 milisegundos.

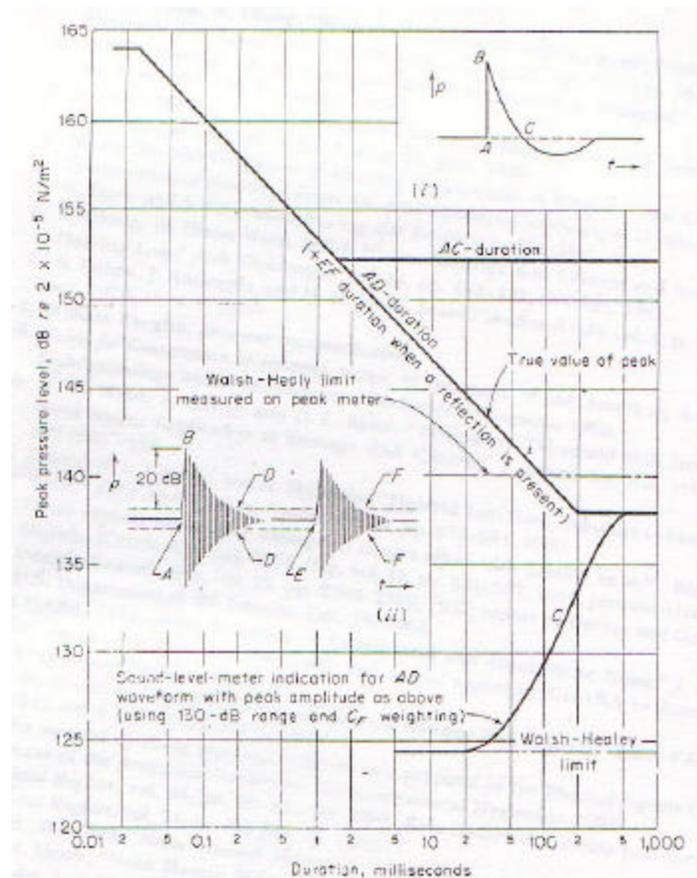


Figura 5.2.5.1: Criterio de riesgo de daño para ruido impulsivo. (i) Impulso puro tal como es creado por un disparo en espacio libre. (ii) Impulso consistente de una serie de oscilaciones amortiguadas las cuales pueden ser seguidas por una onda reflectada aun nivel más bajo. (De Coles, Hodge y Rice, y recomendaciones recientes del Comité de Intersociedad sobre Línea Guías para el Control de la Exposición Sonora.)

Este criterio de riesgo de daño de la figura anterior, representa los límites de tolerancia para 100 impulsos distribuidos sobre un período de 4 minutos a varias horas sobre cualquier día, entendiéndose que este tiempo de aplicación se refiere a una jornada de trabajo diaria. Además se asume que los impulsos alcanzan al oído desde la fuente a un lado de la cabeza. Si los impulsos llegan desde una fuente enfrente o detrás de la cabeza, las curvas pueden ser cambiadas ascendiendo en el criterio en 5dB. Por otro lado un cambio de 5 dB se permite en el criterio, cada vez que ocurra un cambio de 10 veces en el número de impulsos. Así, por ejemplo, si 1000 impulsos ocurren dentro de un período de 8 horas, 5 dB menos de ruido serán permitidos.

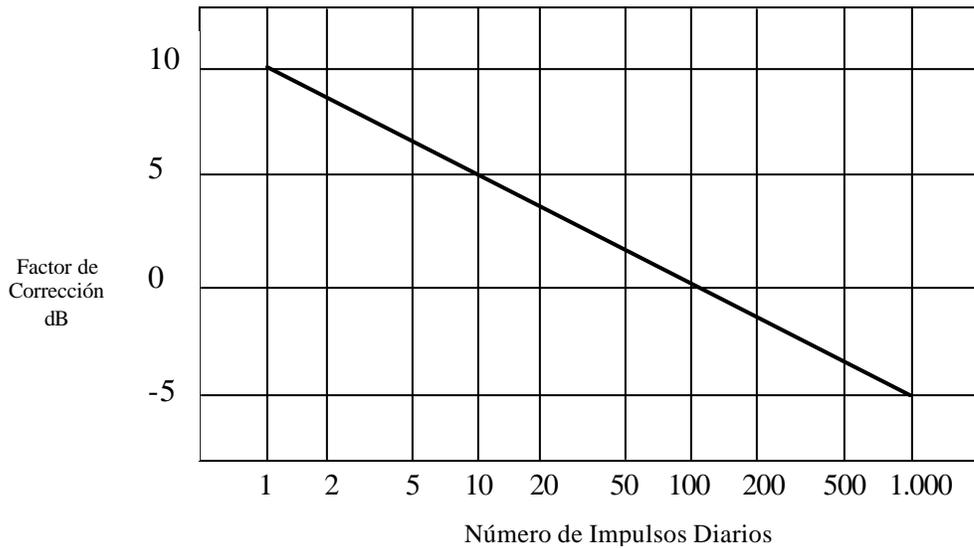


Figura 5.2.5.2: Factor de corrección para el rango de ruido impulso, como una función de número de impulsos por día. La corrección es aplicada al criterio obtenido desde la figura 5.2.5.1. Esta requiere una reducción aceptable del nivel peak de 5 dB para cada factor de incrementos de 10 en el número de impulsos.

Esta información fue obtenida a partir de estudios realizados en el tema de la pérdida auditiva para ruido tipo impulsivo, el cual ha resultado razonable y además este criterio debería servir hasta que mayor cantidad de información este disponible.

En un escrito del departamento de Estándares Laborales, se acepta la propuesta de Walsh-Healey, de que un sonómetro mida ruido impulsivo en un lugar fijo. Esta alternativa se basa en recomendaciones del “Comité de la Intersociedad sobre Líneas Guías para el Control de Exposición a Ruido”. El procedimiento de la medición está limitado para impulsos más grandes que 5 milisegundos de duración. El sonómetro estándar está ajustado sobre el rango de 130 dB y sobre la ponderación " C_F ". Si la lectura es 125 dB(C) o menor, el peak del ruido impulsivo puede ser considerado menor que 140 dB de nivel de presión sonora peak declarado en la regulación. Sin embargo, esta técnica es sólo útil para la evaluación del ruido impulsivo cuyas duraciones se encuentran en el rango de 5 a 30 milisegundos. Como muestra la figura 5.2.5.1, la lectura C_F producirá una lectura por debajo de los 125 dB, como lo indica esta recomendación para duraciones del ruido impulsivo en el rango de 5 a 30 milisegundos. Duraciones más extensas, a

pesar que el nivel peak de 140 dB establecido en la regulación de Walsh-Healey, producirán lecturas de C_F por sobre los 125 dB(C), y por lo tanto, el sonómetro evaluaría el ruido impulsivo como inaceptable. Por ejemplo, si a 200 milisegundos, el sonómetro midió 140 dB de nivel peak de ruido impulsivo, las lecturas serían 134 dB(C), ó 9 dB(C) más alto de lo que la regulación permite. Así, para duraciones sobre 30 milisegundos, el sonómetro puede indicar que nivel de ruido impulsivo es inaceptable, aunque sus niveles de presión sonora peak actuales fueron por debajo de 140 dB.

5.2.6 Criterio para un estándar recomendado (Instituto Nacional para la salud y seguridad ocupacional de E.E.U.U., NIOSH) [9]

Ruido Impulsivo

El estándar para ruido ocupacional de OSHA declara: "La exposición a ruido impulsivo no debe exceder 140 dB peak de nivel de presión sonora". Así, en este contexto, los 140 dB límite, es una recomendación mas que una obligación. Este número fue primero propuesto por Kryter en año 1966 y luego confirmado por Ward en el año 1986. NIOSH en 1972, no dirigió el programa de los riesgos del ruido impulsivo, aunque NIOSH declaró que el abastecimiento de los estándares recomendados en el documento criterio, se intentó aplicar para todo tipo de ruido. Aunque no existe unanimidad en cual es el mejor criterio para describir la relación entre pérdida auditiva inducida por ruido y la exposición a ruido impulsivo, ambos por ellos mismos o en la presencia del tipo de ruido continuo (es decir, continuo, variado o intermitente), están insertos en un estándar internacional que llegará a ser ampliamente usado por más naciones industrializadas. Este estándar es ISO 1999, Acústica - "*Una Estimación del Empeoramiento Auditivo Inducido por Ruido* ", integrando tanto ruido de tipo continuo e impulsivo, usando $q = 3$ como tasa de cambio y calculando la exposición sonora sobre cualquier período de tiempo especificado. Dentro de la integración de todos estos ruidos, al existir componentes impulsivas, se realiza la medición en respuesta FAST e incorpora con un valor de 10 dB extra a la medición total. NIOSH coincide con ésta aproximación y las recomendaciones, indicando que los niveles de exposición a ruido se calculan por integración de todos los ruidos (tanto impulsivo como tipo continuo) sobre el periodo de tiempo de la medición.

A pesar de esta simplicidad, la regla de la igual energía, no es aceptada universalmente como un método para caracterizar exposiciones que consisten tanto de ruido de tipo continuo e impulsivo. Otra aproximación favorece evaluar ruido impulsivo en forma separada del ruido continuo.

Evidencia que los Efectos del Ruido Impulsivo No Conforman la Regla de Igual Energía

En su evaluación de los efectos de ruidos continuos y variantes sobre la audición, el autor Passchier Vermeer en 1971, encontró que los niveles de umbral auditivo de los trabajadores de la construcción de acero, no conforman la hipótesis de igual energía, es decir, la pérdida auditiva en esos trabajadores, quienes estuvieron expuestos a niveles de ruidos con componentes impulsivas, fue más alta que la predicha. Estudios posteriores por Ceypek en 1973, Hamernik y Henderson en 1976 y Nilsson en 1977, también indicaron que el ruido impulsivo y continuo tienen una concordancia más que un efecto aditivo sobre la audición.

Comparando los estudios de Passchier Vermeer en 1973 y los de Burns y Robinson en 1970, Henderson y Hamernik en 1986, sugirieron que la declinación abrupta de la curva de respuesta de exposición obtenida por Passchier Vermeer en las frecuencias medias (aproximadamente en 4000 Hz), fueron debido a la exposición a ruido con componentes impulsivas, una característica que no estuvo presente en la información de Burns y Robinson. Citando la información similar de Passchier Vermeer, aquellos recolectados por Taylor en 1984 y Kuzniarz en 1976, en trabajadores expuestos a ambientes de ruido impulsivo, Henderson y Hamernik en 1986, indicaron que la exposición a ruidos impulsivos y continuos en combinación puede ser más riesgosa que la exposición sólo a ruido continuo.

Voight en 1980 estudió patrones de exposición de ruido en industrias de construcción de edificios relacionados con el nivel sonoro continuo equivalente para 8 horas (L_{Aeq8hr}) y además realizó grabaciones audiométricas para más de 81.000 trabajadores de la construcción en Suecia. Ellos encontraron diferencias en la pérdida auditiva entre grupos expuestos a ruido del mismo (L_{Aeq8hr}), pero con características temporales diferentes. Grupos expuestos a ruido impulsivo tuvo más pérdida auditiva que aquellos expuestos a ruido continuo del mismo L_{Aeq8hr} .

Sulkowski y Lipowczan en 1982, dirigieron mediciones de ruido y pruebas audiométricas en una industria de calderas. Los niveles de umbral auditivo de 424 trabajadores en la industria fueron comparados con el valor predicho acorde a un estudio realizado por Burns y Robinson en 1970. Los valores observados y predichos difieren en que la pérdida auditiva fue más pequeña

que la predicha en las frecuencias audiométricas bajas, pero la pérdida auditiva observada fue más grande que la predicha en las frecuencias audiométricas altas. En su estudio de pérdida auditiva en telares, quienes fueron expuestos a ruido continuo, y hombres martillando en calderas, quienes fueron expuestos a ruido impulsivo de energía equivalente, Sulkowski en 1983, encontró que los hombres expuestos a martillos tuvieron sustancialmente, peor audición que los trabajadores de telares.

Thiery y Meyer-Bisch en 1988, condujeron un estudio epidemiológico por secciones en una planta manufacturadora de automóviles. Los trabajadores de esta industria fueron expuestos a ruido continuo e impulsivo a un L_{Aeq8hr} del orden de 87 a 90 dB(A). Cuando sus niveles de umbral auditivo fueron comparados con aquellos de los trabajadores expuestos a ruido continuo a L_{Aeq8hr} de 95 dB(A) para el mismo tiempo de exposición, los trabajadores automotores mostraron una pérdida auditiva más grande a los 6000 Hz que la población de referencia después de 9 años de exposición.

Starck en 1988, comparó a la frecuencia de 4000 Hz, los niveles de umbral auditivo de trabajadores forestales usando sierras con cadenas y trabajadores de astillero usando martillos y astilladoras. Los trabajadores forestales fueron expuestos a ruido continuo, mientras que los trabajadores de astillero fueron expuestos a ruido impulsivo. Starck en 1988 predijo los niveles de umbral auditivo para ambos grupos, a partir del modelo desarrollado por Burn y Robinson en 1970, en donde postulan que la pérdida auditiva permanente por exposición a ruido, es una función de la energía sonora ponderada en la curva A, es decir, que la exposición sonora con diferentes componentes en el espectro de la frecuencia o en el tiempo, pero con igual energía sonora ponderada en la curva A, producirá la misma pérdida auditiva y por ende Starck encontró que estos niveles fueron aproximados a los predichos en los 4000 Hz para los trabajadores forestales, sin embargo la predicción fue sustancialmente subestimada para los niveles de umbral auditivo a los 4000 Hz para los trabajadores en astilleros.

Los estudios descritos aquí suministran la evidencia que los efectos de exposición combinada a ruidos de tipo continuo e impulsivo son concordantes más que aditivos, idea que respalda la hipótesis de igual energía. Una medida de protección para los trabajadores para tal

efecto concordante, sería incorporar un factor a la medición del nivel de presión sonora de exposición, TWA, cuando estén presentes las componentes impulsivas en el ruido. La magnitud de tal corrección no ha sido cuantificada. El asunto llega a ser más complicado cuando otros parámetros del ruido impulsivo son considerados. La energía del ruido no aparece para ser el único factor que afecta la audición, sino que también se involucran la amplitud, la duración total, el tiempo de ataque, número de impulsos, tasa de repetición y factor de cresta.

Evidencia que los Efectos del Ruido Impulsivo Conforman la Regla de Igual Energía

En 1968 CHABA (Comité de Audición y Bioacústica) publicó un criterio de riesgo de daño para ruido impulsivo basado en la hipótesis de la igual energía. Durante los años, individuos y organizaciones han tratado de soportar el ruido impulsivo sobre la base de la igual energía [Coles 1973; EPA 1974; Coles 1980; ISO 1990]. Burns y Robinson en 1970, propusieron el concepto de inmisión, el cual está basado sobre la hipótesis de igual energía, para describir la energía total a la cual están expuestos los trabajadores a ruido continuo en un período de tiempo (es decir, meses o años). Atherley y Martin en 1971, modificaron este concepto para incluir ruido impulsivo en el cálculo del L_{Aeq8hr} .

Atherley y Martin en 1971, en un estudio de 76 hombres quienes fueron expuesto a ruido impulsivo en dos industrias de calderas, calcularon en cada hombre la exposición a ruido (nivel de inmisión) durante su período de empleo y confrontado con su corrección de edad del nivel de umbral auditivo sobre seis frecuencias audiométricas. Ellos encontraron que los niveles de umbrales auditivos observados en la población vinieron a cerrar lo predicho por los niveles de umbrales auditivos acordes a Robinson en 1968 y concluyeron que la hipótesis de la igual energía fue aplicable al ruido impulsivo. Similarmente Atherley en 1973, examinó los niveles de umbrales auditivos de 50 hombres expuestos a ruido impulsivo producidos por cinceles neumáticos usados en fundiciones de metal y encontró una buena concordancia entre los niveles de umbrales auditivos observados y los predichos.

Guberan en 1971, comparó los niveles de umbral auditivo de 70 trabajadores expuesto a ruido impulsivo en talleres de calderas con los niveles de umbrales auditivos predicho acorde a lo

de Robinson en 1968, a los 3, 4 y 6 KHz. Otra vez, los niveles de umbral auditivo observados fueron cercanos a los niveles de umbral auditivo predichos.

Un estudio de Taylor en 1984, de 716 operadores de prensa y martillo en 7 calderas, indicó que las pérdidas auditivas resultantes por ruido continuo e impulsivo en la industria de caldera, fueron grandes o más grande que aquellos resultados con ruido continuo equivalente. Usando dosimetría de ruido, Taylor en 1984, encontró que el operador de martillo fue expuesto a un promedio L_{Aeq8hr} de 108 dB(A), mientras que el operador de prensa fue expuesto a 99 dB(A). Los investigadores también guiaron audiometrías para los operadores. Los niveles de umbral auditivo medianos de los operadores de martillo de todos los grupos de edad aproximada fueron predichos por el modelo de inmisión de Robinson en 1968. Los niveles de umbral auditivo medianos de los operadores de prensa más jóvenes (entre 15 y 34 años) también correspondieron cercanamente con los valores predichos; sin embargo, aquellos operadores de prensa más antiguos (entre 34 y 54) fueron significativamente más alta que lo predicho. Estos resultados indicaron que, sobre ciertos límites, la hipótesis de la igual energía puede ser aplicada para exposición combinada para ruido impulsivo y continuo.

Exposición Combinada de Ruido de Tipo Continuo e Impacto

En muchas operaciones industriales, el ruido impulsivo ocurre en conjunto con un ruido de tipo continuo de fondo. En algunos estudios de animales el efecto de la exposición combinada para ruido de tipo continuo e impulsivo, aparecen para ser concordantes a niveles de exposición altos. Pero la concordancia desaparece cuando los niveles de exposición son comparables con aquellos encontrados en muchos ambientes industriales comunes. Tanto los efectos de la exposición combinada son aditiva o concordante, la exposición a estos ruidos causan pérdida auditiva, así la contribución del ruido impulsivo a la dosis de ruido, no debería ser ignorada. Si los efectos son aditivos, los 85 dB(A) de límite de exposición recomendada con 3 como tasa de cambio, sería suficientemente protectora. Si los efectos son concordantes (sinergia), el mismo sería aún salvaguardado a una extensión más pequeña. NIOSH consecuentemente recomienda que el límite de exposición es 85 dB(A) a 8 hrs, TWA, es aplicable a todas las exposiciones de ruido, si tales exposiciones son de tipo de ruido continuo, ruido impulsivo o combinado.

5.2.7 Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, Oficina de Control y Abatimiento de Ruido [10]

Resumen

Ruido Impulsivo

Es difícil identificar límites en la exposición a través de una sola cantidad, con el fin de proteger al trabajador contra el ruido impulsivo, ya que es importante tomar en cuenta las circunstancias de exposición, tipo de impulso, duración efectiva y número de exposición diaria.

La revisión de la información del cambio temporal del umbral concluye, que el nivel de presión sonora de máximo que evita una pérdida de 5 dB al rango de 4000 Hz después de 10 años de exposición, es 145 dB. Este nivel es aplicado a eventos aislados, sin importar el tipo, la duración o incidencia en el oído.

La siguiente figura muestra los límites de exposición a ruido impulsivo diario según CHABA, Comité en Audición y Bioacústica.

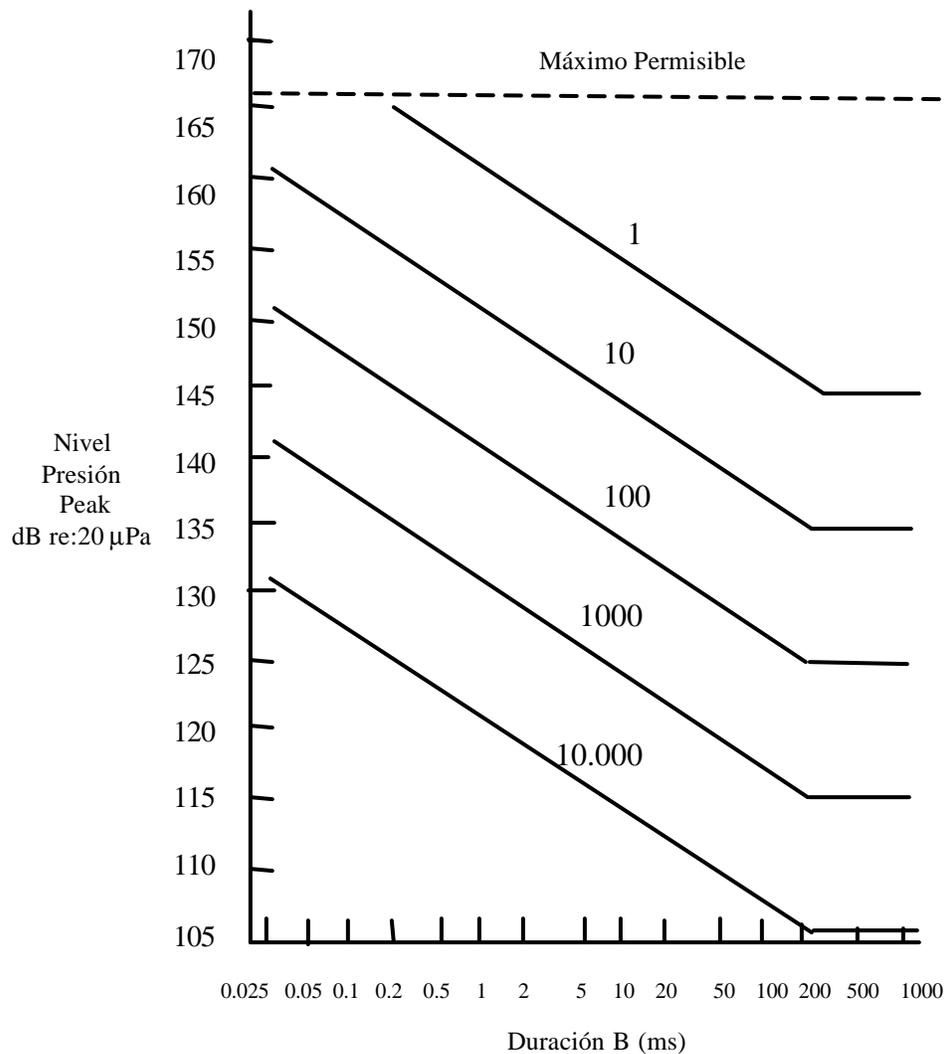


Figura 5.2.7.1: Conjunto de límites CHABA modificados para exposición diaria a ruido impulsivo duración B en el rango de 25 ms a 1 segundo. Modificaciones aplicadas según nivel de exposición y tiempo de duración del impulso.

Definición

El ruido impulsivo es definido como un ruido discreto o una serie de ellos, de corta duración (menos de un segundo) con una elevación muy rápida de 500 milisegundos, que decae al ruido de fondo. El decaimiento es por lo general oscilatorio debido a las reflexiones, donde éstas también pueden ser un riesgo para la audición. Algunos autores identifican el ruido

“impacto” como aquel ruido impulsivo reverberante para distinguirlo de aquellos que son producidos en campo libre como ruido de armamento.

El nivel de presión sonora peak es importante, pero no el único parámetro para ser considerado en la determinación del riesgo auditivo. Además se debe considerar un instrumental de medición apropiado para la situación.

Daño Coclear y Pérdida Auditiva

El ruido impulsivo puede causar cambio temporal y también cambio permanente del umbral auditivo. El patrón de daño se asemeja al de ruido continuo, pero también puede involucrar algo más de pérdida en alta frecuencia (hasta los 6 KHz). El ruido impulsivo también produce daño a nivel de las células ciliadas y en las estructuras internas. En el caso del personal militar expuesto a ruido de artillería, el ruido impulsivo puede producir daño corporal en el rango de 140 a 150 dB.

Parámetros de la Exposición a Ruido Impulsivo

El ruido impulsivo es caracterizado por la forma de onda y el espectro en frecuencia. A continuación se incluyen varios parámetros característicos de este ruido:

- ❑ Nivel de Presión Sonora Peak (re: 20 μ Pa)
- ❑ Duración efectiva.
- ❑ Tiempo de elevación.

Los siguientes parámetros son importantes para predecir los efectos en la gente;

- ❑ Números de impulsos diarios (exposición acumulativa)
- ❑ Rango de ocurrencia de los impulsos.
- ❑ Susceptibilidad individual.
- ❑ Orientación del oído respecto al ruido.

- ❑ Exposición simultánea con ruido continuo.
- ❑ Acción del reflejo timpánico.
- ❑ Frecuencia audiométrica.

Limites y Criterio de Exposición a Ruido Impulsivo

De acuerdo a la lista anterior, estos parámetros no son tan fáciles de considerar en un programa de conservación auditiva. Para el caso de la salud ocupacional, se dictó un nivel límite de 140 dB de nivel de presión sonora para el ruido impulsivo industrial, sin la asignación de ningún otro parámetro.

En 1968 el Comité de Audición y Bioacústica, CHABA, preparó un criterio de riesgo de daño de acuerdo con algunos estudios realizados con disparos de armamento, el cual incluye los parámetros anteriormente indicados.

El criterio de daño del Comité de Audición y Bioacústica (CHABA) en 1968, recomienda límites para el nivel peak en función de la duración del impulso para una exposición a 100 impulsos diarios a incidencia normal. Estos límites fueron entendidos para proteger a un 95% de la población, teniendo un criterio implícito para el cambio permanente de umbral sin exceder 20 dB a 3KHz o más en 20 años.

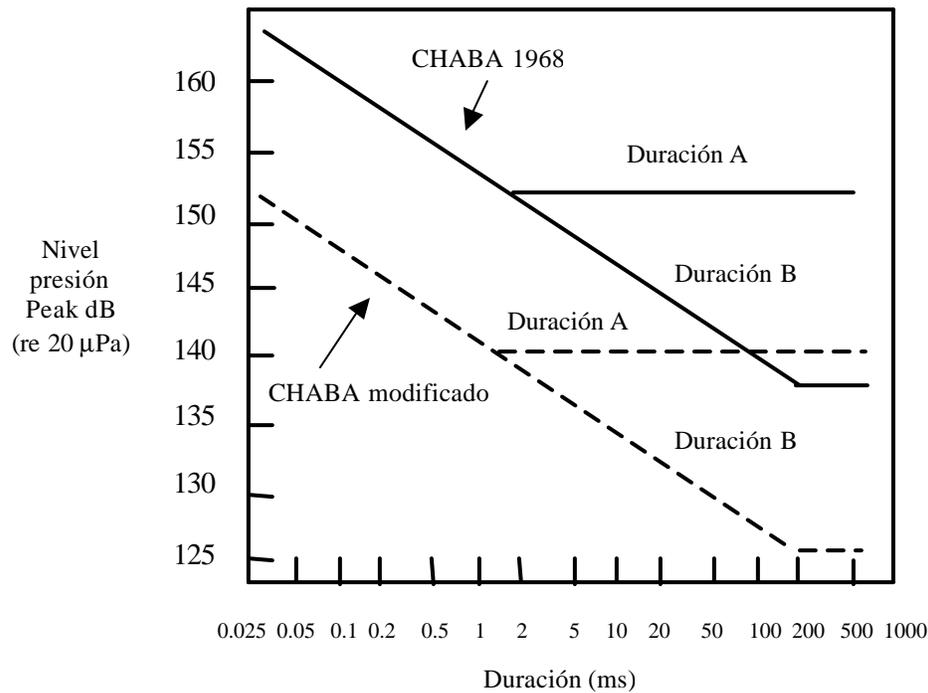


Figura 5.2.7.2: Criterio de riesgo de daño de CHABA de 1968 para la exposición a ruido impulsivo (línea sólida) y una modificación propuesta (línea segmentada). El nivel de presión sonora es expresado en función de la duración A y B en el rango de 25 microsegundos a 1 segundo.

El tiempo de duración del impulso es determinado por la duración A, para impulsos simples (disparos al aire libre) y duración B para decaimiento oscilatorio (disparos en campos interiores reverberantes), donde CHABA hace la distinción en los niveles para ambas duraciones. Cuando no se puede determinar el tipo de impulso se recomienda usar duración B.

El parámetro del tiempo de elevación está siempre asociado con la presión peak. Para el caso del espectro de frecuencia con mayor cantidad de componentes en alta frecuencia, es generalmente más riesgoso para el mecanismo auditivo, que en los casos donde el espectro se concentra mayoritariamente en bajas frecuencias, debido al mecanismo de protección del oído.

El cambio temporal y por ende el cambio permanente del umbral crece linealmente con el número de impulsos de una serie y linealmente con el tiempo cuando la tasa de los impulsos es constante. CHABA recomienda un valor de -5 dB por cada incremento de 10 en el número de impulsos en una exposición diaria. Autores como Coles y Rice indican que esta regla provee poca protección para un gran número de impulsos. Otros autores como McRoberts y Ward indican que esta modificación es grosera para cantidades mayores a 1000 impulsos diarios.

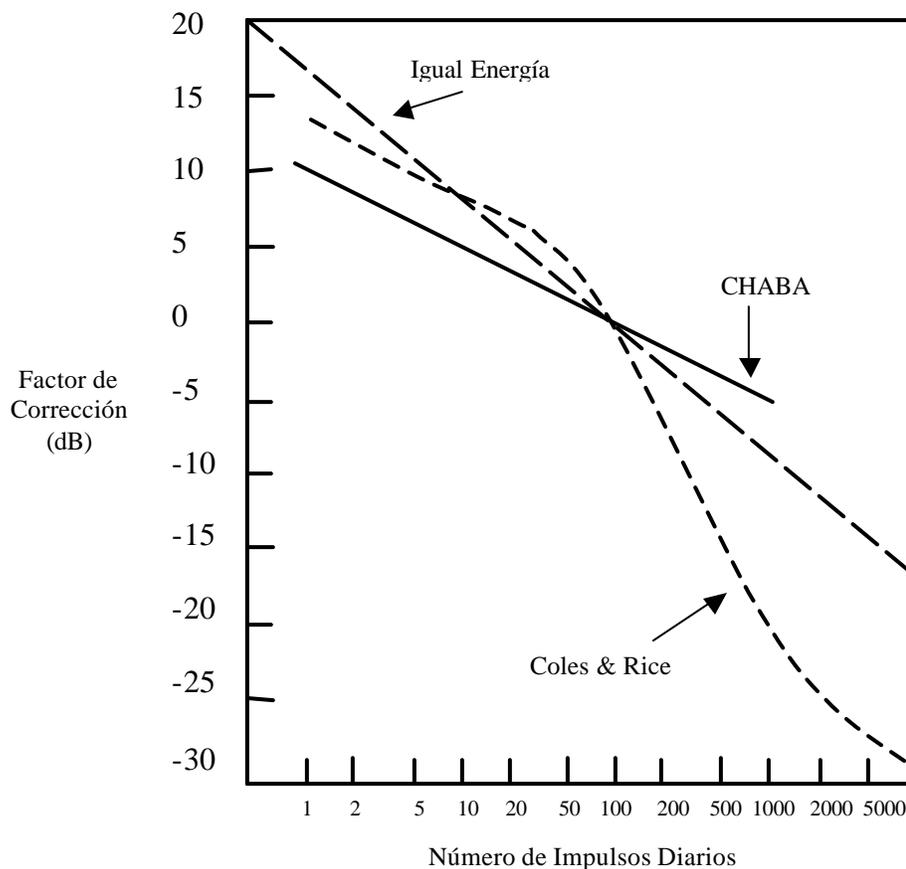


Figura 5.2.7.3: Comparación hecha por McRobert y Ward para la ponderación de CHABA, Coles y Rice y la regla de igual energía.

Como conclusión, la recta de igual energía ajusta la información de manera tolerable y fácil, pero puede subestimar el caso para valores menores a 100 impulsos.

Cuando los impulsos ocurren a más de 1 por segundo, el cambio temporal del umbral es más bajo que cuando el promedio del intervalo está en el rango de 1 a 9 segundos, aparentemente porque el reflejo acústico se mantiene. Para intervalos entre 9 y 30 segundos, el cambio temporal se vuelve a desarrollar lentamente, ya que el intervalo permite alguna recuperación. Una penalidad de 5 dB puede ser aplicada al hecho, cuando el intervalo esté entre 1 y 10 segundos, siendo típicos los intervalos en campos de tiro, martilleo fuerte en la industria, etc.

CHABA recomienda que para la exposición a ruido de pistolas a incidencia normal debe ser penalizada en 5 dB y no cuando es a incidencia tangente. Por otro lado, dentro de las consideraciones de las mediciones de ruido continuo con ruido impulsivo en la ISO R/1999, penaliza en 10 dB la medición cuando el ruido contiene componentes impulsivas, regla que es totalmente cuestionable.

Para el caso del reflejo acústico que se encuentra en el oído medio, toma aproximadamente 200 ms en activarse completamente y puede proveer al menos 10 dB de atenuación siendo un parámetro demasiado variable para tomarlo en un criterio para el riesgo de daño. Además el ruido impulsivo puede causar los mismos efectos que el ruido continuo tanto cambio temporal y permanente del umbral auditivo, teniendo mayor incidencia en el rango de las altas frecuencias.

Resumen

Las siguientes reglas pueden ser seguidas para proteger al 90 % de la población contra los impulsos que provocan cambio permanente de umbral, excediendo 5 dB de pérdida en los 4KHz después de 10 años de exposición repetida.

- i. Medir el nivel peak y las duraciones A y B del impulso, usando la técnica oscilográfica adecuada. Si el ruido impulsivo es igual o mayor a 10 por segundo, medirlo como ruido continuo en dB(A).
- ii. Utilice los límites CHABA para determinar los niveles máximos permisibles del nivel de presión sonora. Si desconoce el impulso, utilice duración B.
- iii. Reduzca el nivel de presión sonora peak en 10 dB por cada incremento de 10, que ocurre con la cantidad de impulsos (ej: 10 dB para N = 1000, 20 dB para N = 10.000)
- iv. Si el valor N es menor que 100, se puede permitir un nivel de presión sonora peak mayor de acuerdo con la misma regla (ejemplo: 10 dB más cuando N = 10), teniendo en consideración un máximo nivel absoluto de 167 dB para duraciones menores que 25 microsegundos a incidencia tangente (ó a 162 dB para incidencia normal).
- v. Si el intervalo promedio entre los impulsos esta entre 1 a 10 segundos, reduzca el nivel de presión peak permisible en 5 dB.
- vi. Si los impulsos conocidos en el entorno son rasantes, el nivel peak puede aumentar en 5 dB. No utilice esta recomendación si los alrededores son reverberantes. Si hay duda asuma incidencia normal.

5.3 Normativas

5.3.1 ISO 10843: 1997. Acústica – “Métodos para la descripción y medición física de los impulsos individuales o series de impulsos” [11]

Resumen

Propósito

El propósito de esta norma es describir y especificar la medición física de sonidos impulsivos o series cortas de estos sonidos.

Dentro de las alternativas de esta norma se encuentra que estos sonidos pueden ser medidos teniendo en cuenta parámetros como nivel peak, duración de tiempo de ataque, o bien, realizando la medición con cantidades integradas en el tiempo. Además esta norma considera sólo fuentes con comportamiento transiente y no de comportamiento estable.

Introducción

Esta norma describe métodos para la medición de impulsos y series de impulsos, sin tomar en cuenta el efecto potencial de daño en la audición, respuesta comunitaria, etc. También es aplicable a sonidos como aquellos producidos por explosiones, disparos y actividades de ámbito similar.

Dentro de los tipos de mediciones son considerados:

1. Mediciones de parámetros de medición de sensibilidad y fase como nivel de presión sonora peak y duración, caracterizando la presión sonora en función del tiempo; y
2. Mediciones de cantidades integradas en el tiempo como nivel de presión sonora de exposición de frecuencia ponderada.

Referencias

Las siguientes normas forman parte de la referencia de esta normativa ISO 10843 que al momento de su publicación eran válidas:

- IEC 50-801: 1994, *Internacional electrotechnical vocabulary - Chapter 801: Acustics and electroacustics.*
- IEC 651: 1979, *Sound level meters, and its Amendment 1: 1993.*
- IEC 804: 1985 *Integrating-averaging sound level meters, and its Admendment 1: 1989 and Amendment 2:1993.*
- IEC 942: 1988, *Sound calibrators.*
- IEC 1260: 1995, *Electroacustics - Octave- band and fractional-octave-band filters*

Definiciones

Características del ruido impulsivo.

- i. *Duración A:* Tiempo en segundos requerido para que la onda principal alcance su presión sonora peak sin ponderar y vuelva momentáneamente a cero. En la práctica la duración A es el tiempo total entre el ataque de un nivel de señal de 20 dB debajo del nivel peak.
- ii. *Duración B:* Tiempo total, en segundos, en que la envolvente de las fluctuaciones de presión sonora sin ponderar (tanto positiva como negativa), están por debajo de un décimo de la presión sonora peak sin ponderar, incluyendo además todas las duraciones de los patrones de reflexión que cumplen con la misma condición.

- iii. *Duración C*: Tiempo total en segundos que la onda principal y las siguientes oscilaciones, tanto negativa como positivas, están dentro de 10 dB del nivel de presión sonora peak sin ponderar.

Nota: Dichas duraciones A, B, C no deben ser confundidas con las redes de ponderación.

- iv. *Envolvente*: Dos líneas suaves idealizadas las cuales efectivamente unen los peaks sucesivos positivos y negativos de la presión sonora instantánea.

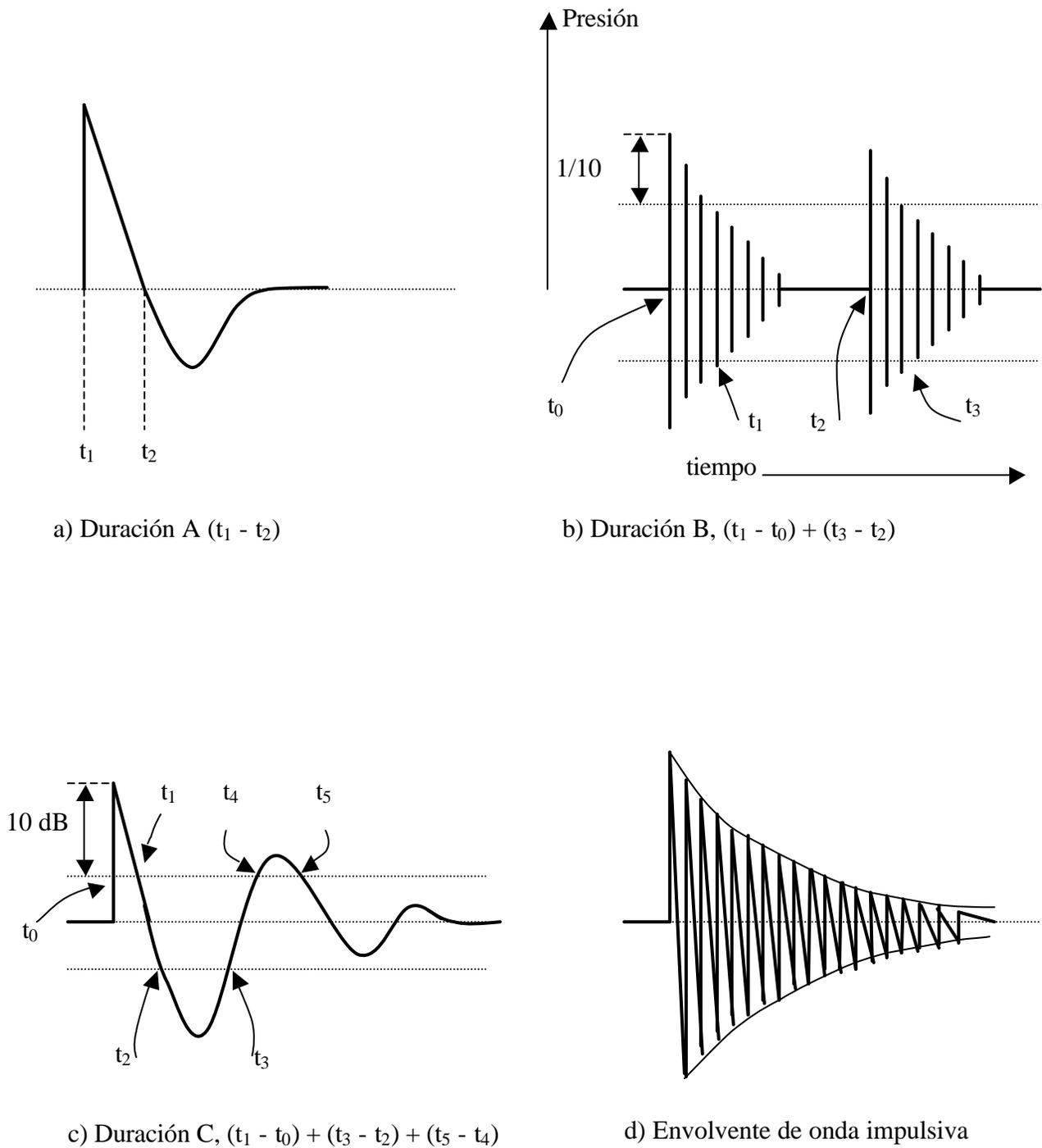


Figura 5.3.1.1: Características del Ruido Impulsivo

- v. *Ruido Impulsivo*: Estallido corto o series de cortos estallidos de presión sonora.
- vi. *Presión sonora instantánea*: Presión instantánea total en pascales en un punto, determinada por la presión de la onda sonora menos la presión atmosférica en ese punto.
- vii. *Nivel de presión sonora instantánea*: Diez veces el logaritmo del cuadrado del cuadrado de la razón entre la presión sonora instantánea ponderada en la frecuencia y la presión sonora de referencia ($20 \mu\text{Pa}$), expresada en decibeles.
- viii. *Presión sonora peak*: Para cualquier periodo de tiempo especificado, el valor absoluto máximo de la presión sonora instantánea, en pascales, que ocurre durante un intervalo de tiempo especificado.
- ix. *Nivel de presión sonora peak*: Diez veces el logaritmo del cuadrado de la razón de la presión sonora peak ponderada en la frecuencia y la presión sonora de referencia ($20 \mu\text{Pa}$), expresado en dB.
- x. *Tiempo de ataque de la señal*: Tiempo, en segundos, que una señal toma para elevarse entre el 10 y 90 % de máximo valor absoluto de la presión sonora.
- xi. *Energía sonora*: Integral espacial y temporal de la intensidad sonora, normal a la superficie cerrada imaginaria, donde la intensidad sonora es la parte real del producto de la presión sonora instantánea y la velocidad de partículas (en el mismo punto del espacio), expresado en joules.
- xii. *Nivel de energía sonora*: Diez veces el logaritmo de la razón entre la energía sonora y la energía de referencia de $1 \text{ pW}\cdot\text{s}$, expresada en dB.

- xiii. *Exposición sonora*: Integral de tiempo de la presión sonora instantánea al cuadrado ponderada en la frecuencia, expresada en pascal al cuadrado por segundo.

$$E = \int_0^T P^2 dt$$

- xiv. *Nivel de exposición sonora*: Diez veces del logaritmo de la razón entre la exposición sonora E y la exposición sonora de referencia, expresada en decibeles.

$$L_E = \log \left(\frac{E}{E_0} \right)$$

Características del Sistema de Medición

- i. *Ancho de banda*: rango de frecuencia, en Hz, sobre el cual la respuesta del sistema a una señal de entrada sinusoidal, esta entre 0 y -3dB. Esta definición es específica para esta normativa.
- ii. *Droop*: Cantidad por la cual la salida del sistema lineal cae por debajo de la salida final ideal del sistema, de acuerdo a una función escalón de entrada, cuando es medida en el momento en el cual iguala o excede la señal de interés, dividida por la salida final ideal y expresada como porcentaje.
- iii. *Rango dinámico*: Diferencia de nivel entre el nivel máximo y mínimo del sistema de medición especificado por el fabricante.
- iv. *Overshoot*: Cantidad por el cual el máximo de la salida del sistema lineal excede la salida final ideal y se expresa como porcentaje.

- v. *Slew-rate*: Velocidad de cambio de la salida del sistema de medición por unidad de tiempo expresado en voltios por segundo.
- vi. *Tiempo de ataque de un sistema*: Tiempo en segundos, requerido para que la salida del sistema lineal se eleve de 10 a 90% de su amplitud final de acuerdo a una función escalón de entrada.

Características del Sistema de Medición y Requerimientos

Para obtener una buena descripción del sonido impulsivo es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros: tiempo de ataque, overshoot, droop, rango dinámico y ancho de banda. Además se necesita que el tiempo de ataque del sistema sea un 10% del sonido impulsivo a medir, que el overshoot sea menor o igual que un 5% al igual que el droop, pero teniendo en consideración que es para una señal igual a la duración A. También es importante considerar, que dentro del ancho de banda, debe ser una década más bajo y una década más alta que las frecuencias de interés.

Integración en el Tiempo

Para la integración de eventos individuales, es necesario que el nivel de ruido de fondo no influya en más de 0,5 dB, teniendo el periodo de integración una incertidumbre de $\pm 5\%$.

Para el caso de múltiples impulsos cortos, es necesario que cada periodo de integración sea seleccionado de modo que el ruido de fondo influya el nivel de exposición sonora medido total en menos de 0,5 dB. Cada periodo de integración debe ser determinado con una incertidumbre de 0,01 %.

Dentro de la integración digital la velocidad de muestreo debe ser al menos tres veces de la frecuencia más alta de la señal. Si las frecuencias están por sobre las de Nyquist, entonces se debería filtrar para prevenir el aliasing de la señal.

El ancho de banda mínimo debe ser de acuerdo a las frecuencias de interés, así como también la ponderación en frecuencia (A y C)

Instrumentación

Los instrumentos de medición deben cumplir con los requerimientos del tipo I de IEC 651 e IEC 804. Para mediciones de niveles de presión sonora peak o nivel de presión sonora máximo, debe considerar una opción "hold" dentro de su circuito.

La conversión para una exposición sonora para un evento (SEL) puede ser estimada sumando:

$$10 \log \frac{t}{1s} \quad [\text{dB}]$$

Donde τ es la constante de ponderación del tiempo: para F = 125 ms; I = 35 ms; S = 1000 ms.

Así por ejemplo, para eventos medidos en ponderación A:

- ❑ Para ponderación de tiempo I: $L_{AE,1s} = L_{pAI \text{ máx}} - 14,6 \text{ dB}$
- ❑ Para ponderación de tiempo F: $L_{AE,1s} = L_{pAF \text{ máx}} - 9 \text{ dB}$
- ❑ Para ponderación de tiempo S: $L_{AE,1s} = L_{pAS \text{ máx}} - 0 \text{ dB}$

Se recomienda que el micrófono a utilizar debe ser tal que su respuesta mas plana sea de incidencia rasante, es decir, de tipo P de acuerdo a la IEC 1094-4.

Mediciones

La calibración debe ser realizada antes y después de cada medición de cada evento.

Las mediciones de exposición sonora filtrada en frecuencia deben ser con un periodo de integración bastante corto, para asegurar que el nivel de energía de fondo esté al menos 10 dB bajo el nivel de exposición sonora real del evento (minimizar efectos debido al viento) y lo suficientemente largas para asegurar que el 90% de la región bajo la curva de presión al cuadrado o potencia versus tiempo, estén incluidas.

Las mediciones deben ser hechas con una diferencia de ruido de fondo de 10 dB. Si esto no ocurre, los resultados deben ser corregidos restando. La siguiente tabla y la ecuación muestran estas correcciones. Es importante señalar que la mínima diferencia entre nivel y ruido de fondo al menos 3 dB. En la práctica ambas mediciones deben ser hechas dentro de la misma situación, dentro de una hora.

Tabla 2. Corrección para ruido de fondo.

<i>DL</i> , dB	3	4	5	6	7	8	9	10	>10
<i>K</i> , dB	3,0	2,2	1,7	1,3	1,0	0,7	0,6	0,5	0,5

$$K = -10 \log \left(1 - \frac{1}{10^{0,1\Delta L}} \right) \quad [dB]$$

En la tabla, ***DL*** es la diferencia en dB del nivel de la fuente y el ruido de fondo y ***K*** es el valor a ser restado al valor de la fuente.

Presentación de Datos

Las cantidades como presión peak, duración A, B, C y tiempo de ataque deben ser hechas con los instrumentos indicados anteriormente de acuerdo a las IEC 651 e IEC 804. Además se debe indicar los registros de acuerdo a la red de ponderación (ejemplo: nivel de presión sonora C, peak). Se debe considerar el parámetro tiempo en las mediciones e indicar si se utiliza filtro o no.

Es importante considerar factores meteorológicos dentro de la presentación de datos como: dirección y velocidad del viento, temperatura ambiente, humedad relativa y presión barométrica; antes y después de la medición.

Se debe realizar una descripción del sitio incluyendo:

- a) Descripción topográfica y física de la superficie de la vecindad de la situación de la medición;
- b) Mapa del lugar con situación de medición;
- c) Descripción de las superficies que rodean a los micrófonos;
- d) Descripción de la fuente y situación de operación.

Anexos

Determinación de las Características del Sistema de Medición

La respuesta en frecuencia debe ser aprobada con los procedimientos que indican la IEC 651: 1979, sección 9, e IEC 804: 1985, sección 9. Además este último estándar también considera las funciones integradoras.

5.3.2 Norma Española UNE 74-024-92 [12]

“Guía para la Elaboración de Normas sobre la Medida del Ruido Aéreo y la Evaluación de sus Efectos sobre el Hombre”

Resumen

Esta norma describe los métodos generales para medir el ruido y evaluar sus efectos en el hombre.

La mayoría de los problemas del ruido pueden clasificarse de la siguiente forma:

- i. Determinación de la cantidad y naturaleza del ruido emitido por una o más fuentes. Aquí se determinan las magnitudes físicas mediante nivel de presión sonora o nivel de potencia acústica. La naturaleza del ruido se describe por el espectro en frecuencia, tomado en cuenta la variación en el tiempo de los niveles, también la naturaleza del campo acústico.
- ii. Problemas relacionados con la evaluación y con la predicción de los diferentes efectos del ruido en el hombre.

Generalizando, los problemas relacionados con la primera parte se refieren principalmente a la generación y transmisión del ruido, mientras que en la segunda parte se relacionan directamente con la recepción del ruido. Cabe destacar que ambos casos no son excluyentes, ya que siempre el problema de ruido tiene un emisor y un receptor.

Dentro de la clasificación del ruido según la norma se pueden destacar los siguientes tipos de ruido:

1. *Espectro en frecuencia*

1.1. **Espectro continuo**

1.2. **Espectro con tonos discretos**

2. *Dependencia con el tiempo*

2.1. **Ruido estable:** Ruido con pequeñas fluctuaciones de nivel sonoro durante el periodo de observación.

2.2. **Ruido no estable:** Ruido cuyo nivel varía notablemente en el periodo de observación.

2.2.1. **Ruido Fluctuante:** Ruido que varía notablemente y de forma significativa durante un periodo de observación.

2.2.2. **Ruido Intermitente:** Ruido cuyo nivel cae bruscamente hasta el ruido de fondo, varias veces en el periodo de observación siendo del orden de 1 s o más durante el cual mantiene un nivel constante y distinto del ruido ambiente.

2.2.3. **Ruido Impulsivo:** Ruido que consta de uno o más impulsos de energía acústica cada uno de los cuales tiene una duración menor de aproximadamente 1 s.

2.2.3.1. **Ruido de Impulso Cuasi Estable:** Una serie de impulsos de amplitud similar con intervalos inferiores a 0,2 s entre impulsos individuales.

2.2.3.2. **Impulso Aislado de Energía Acústica:** Un impulso cuya envolvente de la forma de onda puede ser de amplitud constante o cuasi constante, o bien, puede ser la de un transitorio decreciente.

3. *Naturaleza del Campo Acústico*

3.1. **Campo Libre:** Campo acústico alejado de cualquier superficie reflectante.

3.2. **Campo Reverberante:** Es la parte del campo acústico en la que es despreciable la influencia del sonido directo radiado por la fuente.

3.3. **Campo Semireverberante:** Campo acústico existente en recintos cuyas superficies interiores son moderadamente reflectantes.

3.4. **Campo Divergente Semiesférico:** Campo acústico de una fuente omnidireccional situada cerca de un plano reflectante (generalmente suelo) pero libre de otro obstáculo.

4. *Medidas Físicas*

El problema consiste en determinar las características de la fuente y del ruido emitido por ella.

- 4.1. **Magnitud a Medir:** Se debe medir nivel de presión sonora en función del tiempo en banda ancha o ponderada en el tiempo (redes de ponderación A y C), o bien, en banda estrecha de frecuencia como octavas, tercios de octavas, etc.
- 4.2. **Elección de los Métodos de Medida**
- 4.2.1. **Fuente y Entorno:** Las posiciones de medida se escogen de manera que se eviten una influencia sensible de las irregularidades en las formas de las fuentes sonoras o de la presencia de otros objetos o de otras fuentes. Si estas interferencias no pueden eliminarse, es esencial determinar el grado de influencia sobre el resultado.
- 4.2.2. **Minuciosidad de la Descripción:** Un análisis detallado requiere un estudio en bandas de frecuencia estrecha con un adecuado tiempo de medición y correcta posición de los micrófonos. Para ciertos casos no es necesario tanto detalle en la medición, es suficiente solo con un procedimiento adecuado para la situación.
- 4.3. **Métodos Disponibles.** La complejidad de las fuentes sonoras y de los campos acústicos, no permiten dar una relación entre las exigencias y la precisión de algún método, pero a continuación se dan tres tipos de métodos como formas de evaluación del ruido.
- 4.3.1. **Método de Inspección.** Requiere menos cantidad de equipos y se puede utilizar como método de comparación de las fuentes sonoras. Los niveles son medidos con sonómetro con un número limitado de muestras y no se realiza detalle del entorno acústico. Es recomendable utilizar las ponderaciones en frecuencia A, C y lineal según sea el caso.
- 4.3.2. **Método de Peritaje.** Aquí las medidas del nivel sonoro o de potencia se complementan con medidas en bandas de frecuencia. Los puntos de medición se eligen de acuerdo a la fuente sonora, siendo un método más exigente que el anterior.
- 4.3.3. **Método de Precisión.** Este es un método minucioso en el análisis de los problemas acústicos. Se realizan medidas del nivel de presión en bandas y se mide de acuerdo al comportamiento temporal del ruido. Se analiza el entorno, los puntos de medición y el intervalo de las frecuencias se elige de acuerdo al espectro de la fuente.

Nota: Los instrumentos que se utilizan están de acuerdo a las normas UNE 20-464 (sonómetros) y UNE 21-328/4 (filtros de bandas de octava, media octava y tercios de octava)

A partir de las medidas obtenidas en el método de precisión es posible evaluar las propiedades del ruido impulsivo y hacer la valoración precisa del nivel de potencia de la fuente y determinar su directividad.

5. *Conclusión:* Es necesario utilizar un método de peritaje o de precisión para medir ruido impulsivo considerando varios factores como distribución de niveles, duración del nivel, tasa de repetición, naturaleza del ruido de fondo, espectro, etc.

5.3.3 British Standards, BS 5330: 1976 (1999) [13]

Método de Prueba para la Estimación de Riesgo de Desventaja Auditiva, debido a Exposición a Ruido

Resumen

Objetivos

Este estándar británico especifica una relación entre exposición sonora y la incidencia esperada de desventaja auditiva. Una desventaja existe cuando el promedio de los niveles de umbral auditivo a 1000, 2000 y 3000 Hz exceden cierto valor. La medición de exposición a ruido se deriva desde el nivel sonoro ponderado A continuo equivalente, durante un día de trabajo (asumido 8 horas) y expresado con nivel de inmisión sonora para un número dado de años de exposición. Este estándar se aplica a ruido estable, intermitente, fluctuante o impulsivo. En el caso de ruido impulsivo este estándar no es aplicable donde la presión sonora excede 600 Pa (150 dB, re: 20 μ Pa) durante cualquier tiempo de exposición.

Nota: La combinación de frecuencias de 1K, 2K y 3 KHz es en conformidad con el Departamento de Salud y Seguridad Social (1973), sordera ocupacional; Reporte de la Cancillería Consultiva de Injurias Industriales (Cmnd 5461, HMSO). Otras combinaciones de frecuencias tales como 0,5 KHz, 1KHz y 2KHz han sido definidas en otras partes para el mismo propósito fuera de la superioridad demostrable. Esto sería notado que el nivel auditivo de 50 dB referido al reporte de DHSS corresponde a un 20% de discapacidad y difiere del criterio usado en este estándar para el nivel auditivo mínimo al cual la desventaja auditiva es considerada para empezar.

Medición de Ruido

General. La medición de ruido será hecha con ponderación A y expresado en dB(A). Las ubicaciones de medición y la longitud del tiempo para el cual las mediciones son hechas, serán elegidas para representar adecuadamente la experiencia de ruido en un día típico por las personas en riesgo. El método de medición de ruido será seleccionado de los procedimientos descritos en “mediciones de ruido estable”, “Ruido estable con variaciones de paso amplio en nivel” y “Ruido

intermitente o ruido el cual varía en nivel de tiempo a tiempo”, los cuales permiten el uso de equipos simples que son apropiados en muchos casos.

Mediciones de ruidos estable. Si el ruido es tal que las fluctuaciones en nivel son pequeñas (ver nota 1) y si el nivel promedio sobre un periodo corto (ejemplo: muchos segundos o minutos) es típico de todo el día, un sonómetro o instrumento equivalente será usado para medir el ruido. El sonómetro será usado en ponderación A y respuesta lenta y cumplirá con requerimientos de BS 4197. Si otro equipo es utilizado, se podrá usar siempre que cumpla con los mismos requerimientos.

Nota1: El ruido puede ser estable si las fluctuaciones del medidor están dentro de ± 4 dB, y el punto medio de este rango será tomado para definir el nivel promedio para el propósito de esta cláusula.

Nota2: La lectura del medidor corresponderá numéricamente a L_{eq} para un día de 8 horas.

Medición del ruido fluctuante, irregular, intermitente e impulsivo

- i. 4.3.1 Los ruidos los cuales fluctúan sobre un rango amplio de niveles, y/o también una característica del tiempo irregular, incluyendo una característica impulsiva, serán medidos por un medidor integrador de acuerdo a Apéndice A.

Nota1: Para ruido con características impulsivas fuertes es esencial que el rango dinámico del instrumento debe ser para evitar que éste se sobrecargue por la presión sonora peak del impulso.

Nota 2: Dosímetros también sirven para el propósito de este tipo de mediciones.

- ii. 4.3.2 Otros métodos de medición como descrito en ii a), ii b) pueden ser usados en casos apropiados. Estos métodos no son apropiados para ruidos con características impulsivas. El método en ii a) no es apropiado cuando el patrón de tiempo es muy irregular.
 - a. 4.3.2.1 Ruido estable con variaciones de paso amplio en nivel. Si el ruido varía en cantidades poco claras en nivel, los niveles separados y duraciones serán medidos acorde a mediciones de ruido estable y los valores usados para derivar el nivel sonoro continuo equivalente.

- b. Ruido intermitente o ruido el cual varía en nivel de tiempo a tiempo (ruido fluctuante). Un análisis estadístico de los niveles de ruido sobre un periodo típico será hecho con equipos grabaciones automáticas teniendo una ejecución equivalente total de un sonómetro de precisión usado bajo condiciones similares. Los niveles de ruidos serán agrupados en clases de ancho de 5 dB; 2,5 dB ó 1 dB aproximadamente y la duración total dentro de 1 día será grabada para cada clase.

$$Leq = 10 \log \left[\frac{\left(\sum t_i 10^{\frac{L_i}{10}} \right)}{\sum t_i} \right]$$

Apéndice A

Un medidor de lectura directa puede ser usado para determinar el nivel sonoro continuo equivalente en todos los casos si el ruido es estable, intermitente, fluctuante o incluso componentes impulsivas. Para el presente propósito, la ponderación A será incorporada en el circuito de medición y el tiempo de promediación será arreglado a que el medidor indique un valor acorde a la ecuación:

$$Leq = 10 \log \left[\frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} \left\{ \frac{P_A(t)}{P_0} \right\}^2 dt \right]$$

Donde

P_A es la presión sonora ponderada A instantánea en (P_A)

P_0 20 μ Pa

T_m tiempo de medición

Un rango dinámico de al menos 60 dB y preferiblemente 80 dB es necesario cuando el instrumento es requerido para medir ruido impulsivo. Además el instrumento incorporará una indicación de sobrecarga instantánea.

5.4 Publicaciones Técnicas

Publicaciones del “Journal of the Acoustical Society of America”

5.4.1 "Pérdida Auditiva en la Chinchilla para Exposición a Ruido Impulso y Continuo" [14]

Este estudio analizó el riesgo relativo de la exposición a ruido continuo e impulsivo conteniendo el mismo espectro. El ruido impulsivo fue generado y grabado golpeando un clavo con un martillo. Determinado el espectro del ruido impulsivo, se procedió a filtrar un ruido rosa con el fin de obtener el mismo espectro en frecuencia. Los umbrales de respuesta de pre-exposición fueron obtenidos a 1, 2, 4 y 8 KHz en 16 chinchillas adultas. Los animales fueron divididos en dos grupos; el primero fue expuesto a ruido impulsivo y el otro al ruido rosa filtrado. El tiempo de exposición fue de 4h / día durante 5 días. Treinta días después se realizaron nuevas mediciones de los umbrales auditivos. Los cambios en la sensibilidad auditiva fueron medidos restando los umbrales de preexposición con los de postexposición. Los resultados mostraron que los umbrales medidos en el grupo expuesto a ruido impulsivo fueron significativamente más alto que el expuesto a ruido continuo. Estos datos indican una necesidad de examinar detalladamente los parámetros que envuelven a este tipo de ruido.

INTRODUCCIÓN

El ruido impulsivo se diferencia del continuo por una elevación y un decaimiento rápido del nivel de presión sonora, como por ejemplo choques de masas o una liberación rápida de gases. Estudios en laboratorio han demostrado que el ruido impulsivo como el continuo, tienen distintas influencias en el sistema auditivo. Datos encontrados en trabajadores expuestos a ruido impulsivo, demostraron que la exposición a éste por debajo de los 100 dB(A), produce una pérdida auditiva aproximada de 10 (dB) más que si estuvieran expuestos a ruido continuo del mismo nivel equivalente.

Dentro de las propuestas de criterios para riesgos de daños en la exposición a ruido impulsivo, ninguno a podido ser tan integro para las exposiciones en el ámbito laboral. Por lo

general las tasas de cambio (q), son de 3 ó 5 para evaluar un efecto combinado de la exposición a ruido continuo e impulsivo.

CHABA (Comité de Audición y Bioacústica) en 1968, recomendó un nivel de presión sonora máximo de 164 dB para impulsos de duración muy cortos (25 μ s) con una disminución de 2 dB en la presión peak permitida por cada duplicación en la duración del pulso. Cien de estos impulsos son permitidos diariamente, pero el número total de impulsos permitidos cambia por un factor de 10 por cada 5 dB de cambio en el nivel peak. Si la presión peak es 5 dB más baja, entonces se permitirían 1000 impulsos diarios.

La Sociedad de Higiene Ocupacional Británica, propuso que se puede aplicar la regla de la igual energía a un ruido impulsivo hasta 150 dB (A) y para un impulso único tan alto como 170 dB NPS.

La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) combina todos los tipos de ruido en los programas de conservación auditiva en trabajadores expuestos entre los 80 y 130 dB, usando sonómetros o dosímetros de acuerdo al criterio de exposición a ruido. Pero las mediciones realizadas en respuesta lenta para sonidos impulsivos, fallan porque no pueden capturar toda la energía acústica involucrada en este tipo de ruido, de acuerdo a los siguientes autores: Erdreich 1983, 1984; Hamernik, 1974; Cluff, 1982.

El ruido impulsivo es bastante variante y complejo, ya que puede variar en intervalos, contenido espectral, presión peak, tiempo de elevación, etc. Todos estos factores deben ser considerados para la aplicación de un criterio de daño más preciso.

El autor Ward en 1983, mostró que exposiciones interrumpidas a ruido pueden ser tan dañinas como una continua. Esto indica que la energía equivalente no solo determina el riesgo del ruido continuo, sino que es posible asumir que la energía equivalente no puede predecir exactamente el riesgo auditivo de la exposición a ruido impulsivo. Por esta razón, es necesario determinar el contenido espectral del ruido por los efectos posibles en la audición.

Price en 1983 mostró que gatos expuestos ruido de rifles, tuvieron mayor cantidad de pérdida auditiva que al estar expuestos a ruido de cañón de más alta intensidad. Esto se debe a que el oído no responde de forma adecuada a ruidos de baja frecuencia como el ruido de un cañón, comparativamente ruido del rifle, que tiene mayores componentes en frecuencias medias - altas.

La actual investigación usó ruido impulsivo con el mismo nivel peak y contenido espectral encontrado en la industria, con el fin de determinar si la exposición a ruido impulsivo tiene el mismo efecto en el aparato auditivo que la exposición a ruido continuo.

MATERIALES Y MÉTODOS

a) **Sujetos**

Dieciséis chinchillas de 9 a 12 meses de edad fueron usadas con un peso entre los 500 y 600 gramos. Todos los procedimientos fueron aprobados por la NIOSH, de acuerdo a los cuidados de los animales y su uso.

b) **Ruido y Sistema de Exposición a Ruido**

El ruido impulsivo fue generado por un golpe de martillo en un clavo parcialmente enterrado en una pieza de madera. El impulso fue grabado usando un micrófono B&K 4165 de ½" y un preamplificador B&K 2615. El impulso fue digitalizado por un convertidor A-D de 12 bit en la Tarjeta Multifunción DT 2801A, de traducción de datos y un software ILS-PC (Signal Technology, Inc) a 12.500 muestras / segundo en un computador Deskpro Compac. La grabación digital del impulso fue hecha en una cámara anecoica para reducir reverberación. La figura 5.4.1.1 muestra la señal acústica del ruido impulso grabado desde un micrófono dentro de una cámara de exposición del animal.

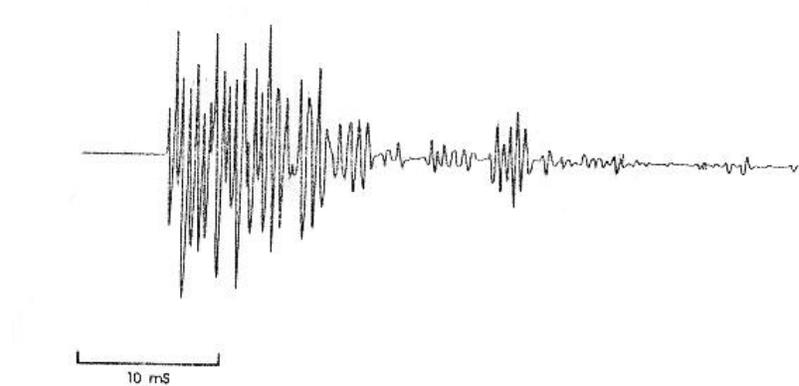


Figura 5.4.1.1: Señal de tiempo del ruido impulsivo usado como estímulo de exposición. Esta grabación fue hecha con un micrófono localizado dentro de la cámara de exposición del animal.

La presión peak del ruido impulso fue ajustada a 120 dB de nivel de presión sonora; la duración total del evento digital fue de 116 ms. El espectro del ruido impulsivo fue medido dentro de la cámara de exposición usando un micrófono B&K 4165 y un analizador de frecuencia digital B&K 2131. La figura 5.4.1.2 muestra el espectro en bandas de tercio de octava para el ruido impulsivo. El mismo software ILS-PC, tarjeta DT 2801A y un computador se usaron para ajustar el estímulo del impulso durante la exposición.

El ruido continuo fue ruido rosa, producido por un generador de ruido aleatorio General Radio 1382 y formado con un multifiltro de tercio de octava General Radio 1925. El espectro del ruido rosa fue igualado al espectro del ruido impulsivo.

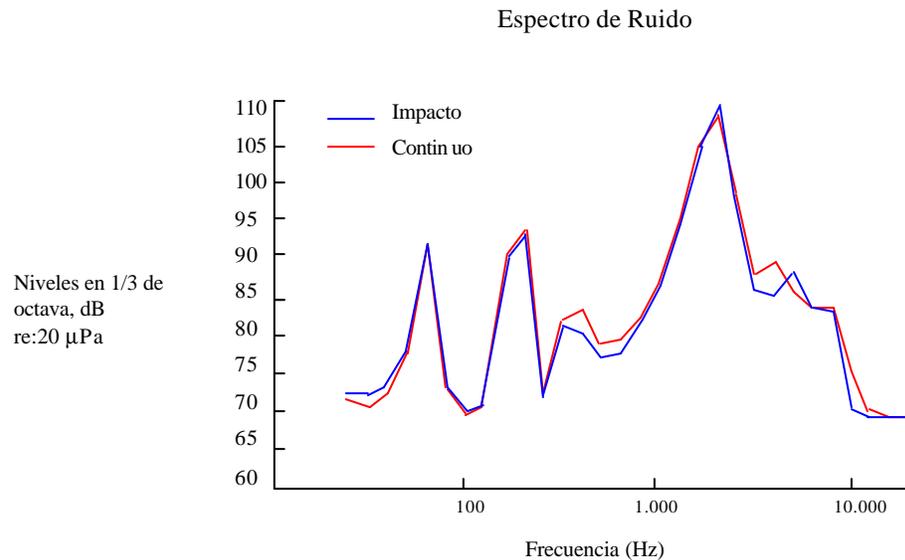


Figura 5.4.1.2: Espectro de frecuencia en tercio de octava para ruido impacto y ruido rosa filtrado.

La señal eléctrica para el ruido impulsivo o continuo fue dirigida a 2 amplificadores Crown de 2 canales cada uno (DC 300A y DC 300). La salida de cada uno de los 4 canales de los amplificadores fue conectada a un driver Altec-Aliasing 908-8B e instalado en una bocina Altec-Aliasing (511B). Cada driver y bocina ensamblado, fueron insertados en lo alto de una de las cámaras de exposición construidas especialmente. El nivel de presión sonora del ruido fue ajustado por los controles de ganancia de los atenuadores Wilsonics PATT y el amplificador Crown. El ruido en la cámara de exposición fue monitoreado usando el analizador de frecuencia digital B&K 2131. Micrófonos de electret fueron instalados en las cámaras de exposición, con el fin de comprobar rápidamente del ruido. Un interruptor conduce a los micrófonos al analizador de frecuencia digital B&K 2131, el cual permitió monitorear la frecuencia y la potencia rms lineal del ruido. Las formas de onda captada por los micrófonos de la cámara, fueron monitoreadas vía osciloscopio. Un micrófono calibrado (B&K 4165, ½" pulgada) con un suministro de poder, fue puesto entre las cámaras para chequear la calibración del sistema y para determinar exactamente el nivel de exposición a ruido. La calibración del sistema fue chequeada cada mañana antes y después de las exposiciones.

El ruido impulsivo del grupo expuesto (grupo II), recibió 32.656 impulsos (aproximadamente 2,26/s durante un período de 4 h) cada día durante 5 días consecutivos. El nivel de presión sonora rms lineal del ruido impulsivo, al rango de repetición seleccionado, fue 110 dB desde que integra por sobre las 32 muestras de la ventana disponible en el analizador B&K 2131. El ruido continuo del grupo expuesto (grupo I) fue expuesto a 4 h de ruido continuo a 110 dB de nivel de presión sonora rms lineal durante 5 días consecutivos. El ruido continuo fue también medido usando el analizador B&K 2131 usando una ventana de integración de 32 muestras.

c) **Sistema y Procedimiento de Prueba de las Respuestas Auditivas**

En primer lugar se obtuvo los umbrales auditivos de cada chinchilla formando una línea base, realizada entre 1 a 2 semanas antes de la exposición. Los umbrales medidos se obtuvieron en los oídos derechos y fueron en 1, 2, 4 y 8 KHz tomando el valor de 4KHz como valor de ordenación de los animales. Los valores de postexposición fueron tomados un mes después.

Las pruebas de medición de los umbrales no tuvieron incidencia en la asignación de los animales a los grupos de exposición, con el fin de asegurar la identidad desconocida de los animales expuestos al ruido.

Durante el primer día las chinchillas fueron pesadas y se calculó la dosis de anestesia para cada una. Luego se les inyectó anestesia con una mezcla de ketamina y xylazine, con la cual no se les afecta los umbrales auditivos a los animales. Luego se midió la temperatura rectal y se les examinó el canal externo del oído. Posteriormente, el sujeto fue puesto en un cojín isotérmico precalentado para prevenir la caída de la temperatura del cuerpo tomando como tolerancia $\pm 1^{\circ}\text{C}$. En el caso de que una chinchilla se agitate durante el experimento, se le procedió a inyectar ketamina al 50% de la dosis original. El sistema de medición de los umbrales fue realizado mediante un "Viajero Biológico". El Viajero es un sistema completo que produce tonos, graba y promedia los resultados de la actividad eléctrica nerviosa. Las mediciones fueron hechas usando ventanas de grabación de 10 ms, de 512 puntos / ventana, con un número máximo de 1024 puntos / ventana. La configuración de los filtros fue a 100 Hz pasa alto, 3 KHz pasa bajo y considerando

60 Hz. La ganancia típica del artefacto fue de 100.000x y rebajada a 70.000x ó 50.000x cuando el artefacto empezó a incrementar en un 5%.

Los estímulos de prueba fueron estallidos de tono de fase alternada a 1, 2, 4 y 8 KHz, teniendo 1 ms de duración en elevación/descenso y un segmento de 3 ms de estabilización. Esto fue presentado 5,1 veces/s. El tono fue producido eléctricamente por el oscilador interno y transductado por un fonotubo ER-2. Una tapa en el micrófono actuó para sellar dicho elemento y el fonotubo en el canal auditivo de la chinchilla.

El micrófono ER-10B y el amplificador B&K 2606, fueron usados para calibrar los estímulos acústico y además diariamente éstos fueron calibrados con el pistófono B&K 4220 (124 dB de Nivel de Presión Sonora). Usando tonos coincidentes a 75 dB (referenciado al Viajero Biológico) fue posible medir un nivel de presión sonora equivalente dentro del canal auditivo del animal. Los valores en el canal auditivo fueron recalibrados al final de la sesión y el promedio de estas dos mediciones fueron tomadas como la calibración verdadera (chequeos confirmaron una variación menor a 2dB).

Los electrodos fueron de puntas de Platinum aseados con alcohol. El electrodo activo fue colocado en el vértice del cráneo, el electrodo de referencia en la mandíbula, justo debajo del oído derecho y el electrodo tierra fue colocado debajo de la pierna derecha del animal.

Los umbrales fueron determinados en el oído derecho de las chinchillas en el nivel que normalmente responden a los estímulos. Cuando la respuesta estuvo presente, se descendió en 20 dB hasta que la respuesta no estuvo presente. Luego se subió en pasos de 10 dB hasta que el estímulo estuvo nuevamente presente, entonces se volvió a descender en etapas de 5 dB hasta que el estímulo de nuevo no estuvo presente. El umbral de respuesta auditiva fue tomado en el punto medio del nivel de presión sonora más bajo, donde la respuesta estuvo presente y donde no se detectó respuesta.

Una vez completada la prueba de los electrodos y recalibrado el estímulo acústico, los electrodos fueron removidos y se les volvió a tomar la temperatura rectal. El sujeto fue colocado

en una caja con un cojín de gel caliente y observado hasta que su recuperación fue completa para regresar a su caja. Además los animales fueron supervisados por personal veterinario por eventuales problemas a causa del estado que produce la post anestesia.

RESULTADOS

Los umbrales medios de preexposición para las frecuencias dadas (1, 2, 4 y 8 KHz) estuvieron dentro de 8 dB en los grupos experimentales.

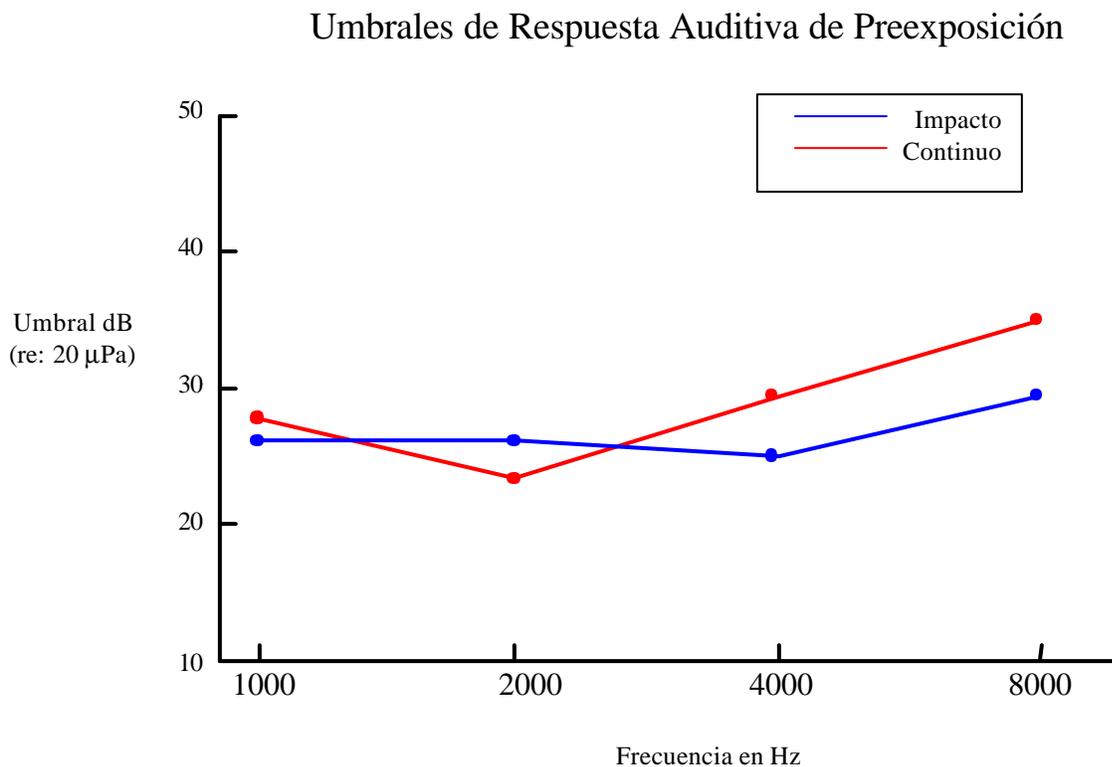


Figura 5.4.1.3: Cambios auditivos de preexposición para los grupos experimentales.

El grupo expuesto a ruido continuo (grupo I) mostró un cambio en los umbrales auditivos en todas las frecuencias. El grupo expuesto a ruido impulsivo mostró sustancialmente más cambio de umbral auditivo que el grupo expuesto a ruido continuo en todas las frecuencias de prueba (tabla I).

Tabla I: Grupo principal y desviación estándar para preexposición, postexposición y cambio de umbral.

Frecuencia	Pre exposición media (desviación estándar)	Post exposición media (desviación estándar)	Cambio medio (desviación estándar)
Grupo I			
Ruido Continuo			
1 KHz	27,98 (12,02)	50,23 (8,60)	22,25 (11,05)
2 KHz	23,39 (7,38)	55,66 (12,43)	32,28 (14,35)
4 KHz	29,35 (6,14)	59,00 (14,98)	29,65 (16,09)
8 KHz	34,33 (7,37)	46,78 (4,91)	12,45 (10,55)
Grupo II			
Ruido Impulsivo			
1 KHz	26,13 (5,27)	68,63 (10,82)	42,50 (11,18)
2 KHz	25,98 (5,22)	80,59 (11,16)	54,61 (7,22)
4 KHz	25,18 (4,32)	83,86 (7,23)	58,69 (9,82)
8 KHz	29,36 (12,92)	78,49 (5,54)	49,13 (12,44)

El cambio de umbral medio para cada grupo se refleja en la figura 5.4.1.4. Además el modelo ANOVA comparó a los grupos impulsivo y continuo.

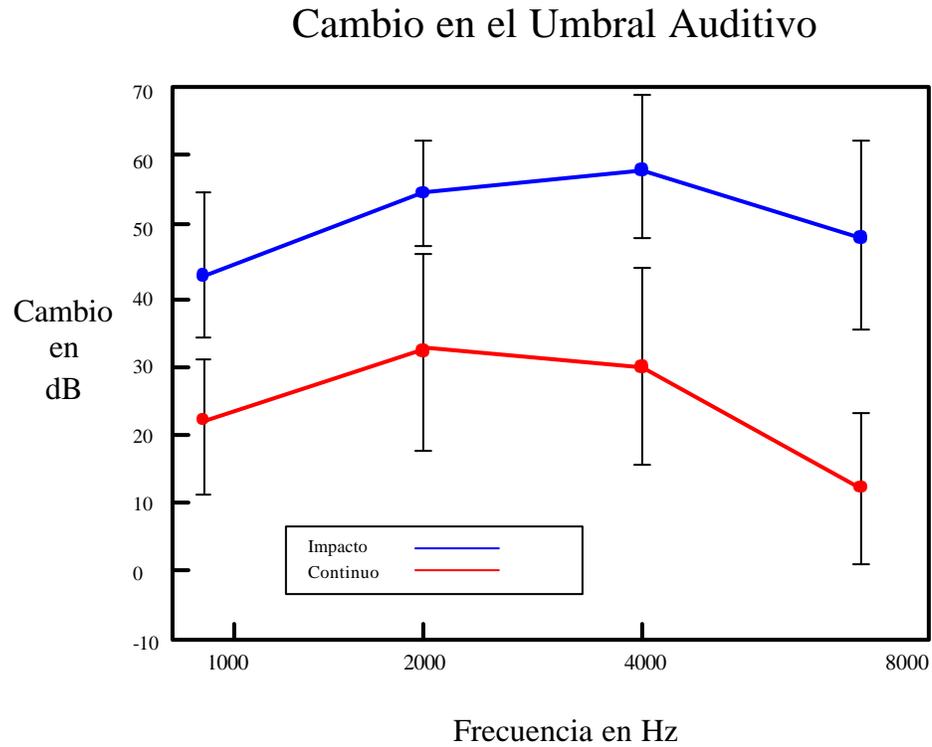


Figura 5.4.1.4: Cambio de umbral auditivo para grupos experimentales. Barras de error indican mas o menos 1 desviación estándar.

DISCUSIÓN

Los parámetros de esta investigación fueron seleccionados para evaluar la contribución en la pérdida auditiva en las diferentes características temporales, tanto para ruido impulsivo como el ruido continuo, teniendo en cuenta que ambos tipos de ruido cuentan con el mismo aporte de energía acústica por frecuencia.

Los resultados muestran que el ruido impulsivo fue más dañino que el de tipo continuo. De acuerdo a este estudio, no es posible determinar que tipos de parámetros (presión peak, tiempo de elevación, intervalo de pulsos, etc.) que contiene el ruido impulsivo, lo hace más dañino comparado al ruido continuo. Además es posible establecer que el principio de igual energía no se mantiene para los estímulos de la exposición usado en esta investigación.

Muchas observaciones realizadas en los lugares de trabajo, hacen pensar que el daño producido por el ruido impulsivo es mayor que la exposición a ruido continuo de energía equivalente similares, de acuerdo a investigaciones realizadas por varios autores (Voight, 1980; Sulkowski, 1980; Atherley, 1973; Evans y Ming, 1982; Burns y Robinson, 1970; Passchier-Vermeer, 1974; Sulkowski y Lipowezan, 1982; Taylor, 1984; Thiery y Meyer-Bisch, 1988).

La mayoría de los estudios realizados en animales, en la cual se evalúa la regla de igual energía, han notado que el daño celular auditivo es una función de las alteraciones en los parámetros acústicos de las formas de onda impulsiva o continua.

Estudios realizados por Buck en 1982, mostraron que el ruido impulsivo es más riesgoso que el ruido continuo. En dos experimentos se mostraron la incidencia de los efectos en el rango de los estallidos del ruido en el cambio de umbral temporal en cerdos de guinea. En un estudio, se mantuvo el nivel de presión sonora del estallido del ruido, mientras se cambiaba el rango de repetición y el período de exposición, manteniendo la dosis de energía constante para cada exposición. Para rangos de repetición altos, los estallidos llegaron a ser ruido continuo. Buck encontró que el cambio de umbral temporal fue más grande para un rango de presentación de un estallido por segundo. Incrementando o decreciendo el rango de repetición, redujo el nivel de

cambio de umbral temporal. A partir de este estudio, se concluyó que el ruido intermitente fue aproximadamente 3 dB más efectivo al momento de producir cambio de umbral temporal que el ruido continuo.

Price en 1974 y 1976 observó la recuperación del cambio de umbral temporal en gatos anestesiados expuestos a tonos continuos e intermitentes. Él encontró que el mecanismo de recuperación comenzó dentro de unos pocos milisegundos después de la suspensión del tono de exposición y prosiguiendo así por horas. Cuando el proceso de recuperación se desorganiza por el ataque de otro tono de exposición, se observó que la recuperación siguiente fue también desorganizada, por lo tanto, el ruido intermitente desorganizaría mayormente este mecanismo de recuperación, más que el ruido continuo.

Los datos finales demuestran que para los parámetros seleccionados, el ruido impulsivo es más nocivo para la audición que el ruido continuo con el mismo espectro en frecuencia. En el futuro, será necesario determinar si la relación encontrada se mantiene para niveles de energía más altos y más bajos que los examinados en este estudio. La contribución a la pérdida auditiva hecha por varios parámetros del ruido impulsivo (espectro, rango de pulso, tiempo de elevación, presión peak, etc.) necesitará ser tomada en cuenta para intentar definir el riesgo relativo del ruido impulsivo, comparado con el ruido continuo para incorporar los efectos de estos parámetros.

5.4.2 Protección de la Audición Contra el Ruido Impulsivo de Alta Intensidad [15]

El ruido impulsivo de alto nivel de presión sonora es una preocupación médica ocupacional muy importante dentro el ámbito militar en los Estados Unidos de Norteamérica como también en muchos países. Casi todo el armamento produce potencialmente altos niveles de presión sonora con alto riesgo para la salud humana.

El ruido impulsivo es una perturbación en el aire producido por dos objetos que chocan, detonación de armas, escapes rápidos de válvulas, etc. El ruido estable es muy distinto, debido principalmente a la variable temporal y además por el tipo de daño producido en el sistema auditivo.

La naturaleza del daño auditivo que produce el ruido impulsivo es el desgarro de las estructuras sensibles del oído, por otro lado se distingue que el daño causado por el ruido estable es mayoritariamente de orden bioquímico.

Un sujeto puede estar expuesto a bajas intensidades de ruido impulsivo y no se distingue algún tipo de efecto en la audición, pero a niveles más altos pueden existir pérdidas transitorias de la sensibilidad auditiva. A niveles más altos, esta pérdida en la sensibilidad puede ser más larga, en casos más extremos la pérdida transitoria no se recupera pasando a ser una pérdida permanente de la audición.

La protección del sistema auditivo del personal militar contra los efectos adversos que produce el ruido impulsivo, es importante tanto para la calidad de vida como también para el éxito de las misiones militares. Por otro lado, la ejecución de armamento militar moderno usualmente significa una exposición a ruidos más intensos para el personal que los opera.

Los estándares de exposición segura para ruido impulsivo están derivados del Comité de la Audición y Bioacústica de la Academia Nacional de Ciencias / Consejo Nacional de Investigación para el criterio de riesgo de daño para ruido impulsivo (CHABA, 1968). La forma original del criterio fue diseñada para limitar la pérdida auditiva que resultaría de una exposición

a ruido impulsivo sin el beneficio de la protección auditiva. Algunos investigadores en 1971 (Garinther y Hodge) concluyeron que los límites de CHABA podrían ser muchos más altos (aproximadamente 30 dB), si se usara protección auditiva adecuada. Desde entonces la protección militar ha sido asumida y los límites más altos han sido para fijar la exposición ocupacional máxima para el ruido del armamento militar.

Una serie de estudios del Comando de Material e Investigación Médico de la Armada de los Estados Unidos de Norteamérica, fueron tomados para establecer un máximo en los niveles de exposición sonora ocupacional seguro para ruido impulsivo al momento de usar protección auditiva. Los primeros estudios estuvieron enfocados para ruido en campo libre. Ellos usaron protección auditiva que proporciona solo cantidades moderadas en la atenuación del ruido. Los niveles de exposición seguros máximos han sido determinados para 3 tipos de formas de onda de presión-tiempo con duraciones de presión positiva de 0,8 a 3,0 ms, rango que incluye las duraciones del ruido medidas para la mayoría de las armas pesadas. Estos resultados guían a nuevos límites en la exposición derivados del criterio de riesgo de daño de CHABA. Estos estudios han revelado el hecho extraordinario que para altos niveles de presión sonora de ruido impulsivo en campo libre, la protección ofrecida por los protectores auditivos ordinarios es adecuada para ruido impulsivo fluctuando desde niveles de 5 a 15 dB y por sobre aquellos que previamente creyeron ser seguros.

5.4.3 Ruido Impulso: La Importancia del Nivel, Duración y Rango de Repetición

Este estudio se realizó en dos partes, con el fin de ver la aplicabilidad de la hipótesis de la igual energía a la exposición de ruido impulsivo en chinchillas. Estos animales fueron expuestos a ruido de banda ancha a tiempos de 200 ms de duración.

La primera parte del estudio se realizó con seis niveles de exposición (107, 113, 119, 125, 131 y 137 dB de nivel de presión sonora) y con tres rangos de repetición (4/s, 1/s y 1/4s). En la segunda parte del estudio la duración total y también la energía total se mantuvieron constantes para el rango y el nivel de exposición.

Los resultados indican que la pérdida auditiva en los animales, no están de acuerdo con las predicciones del principio de la igual energía, además el cambio de umbral permanente con la pérdida de células ciliadas son parecidos en los niveles de exposición sonora más bajos, pero ambos se incrementan con los niveles peak más altos, resultando una dependencia de la pérdida auditiva y daño coclear con el nivel de exposición sonora. Por lo tanto, la pérdida auditiva y daño de las células ciliadas aparece dependiendo de muchos factores incluyendo nivel de presión sonora peak, rango y susceptibilidad del animal.

Introducción

En la actualidad muchos estándares y estrategias de conservación auditiva están basados de alguna forma en el principio de la igual energía. Burns y Robinson en 1970 postularon que la pérdida auditiva permanente por exposición a ruido, es una función de la energía sonora ponderada en la curva A, es decir, que la exposición sonora con diferentes componentes en el espectro de la frecuencia o en el tiempo, pero con igual energía sonora ponderada en la curva A, producirá la misma pérdida auditiva. Por este motivo se propuso una extensión a este concepto para cubrir los efectos del ruido impulsivo.

La idea del principio de la igual energía es bastante atractiva, debido a su simplicidad de aplicación en ambientes industriales. En 1983 Ward concluyó que para algunas formas del

principio de la igual energía se acomoda razonablemente para exposición a ruido continuo, pero no se ajusta para ruido impulsivo. Esto se debe a que estudios realizados en laboratorio comprueban que el ruido impulsivo produce daño mecánico directo a la cóclea y que el desarrollo de la recuperación del cambio temporal del umbral (TTS), no sigue una función lineal simple.

Los siguientes experimentos fueron desarrollados para evaluar la aplicabilidad del principio de la igual energía a exposición a ruido impulsivo en ambiente de laboratorio, utilizando la forma genérica del principio, es decir, la pérdida auditiva es proporcional a la energía total de la exposición.

Métodos

El experimento contiene dos partes, en las cuales los animales fueron expuestos a la misma energía acústica. La primera experiencia se diseñó para estudiar el efecto del rango y el nivel de exposición. Grupos de al menos 5 animales fueron expuestos a uno de los rangos de repetición 4/s, 1/s y 1/4s y a niveles de presión sonora peak de 107 a 137 dB. En la segunda experiencia la duración total de exposición de cada grupo fue constante por 5 días y la cantidad de energía se mantuvo constante para alternar el nivel de presión sonora de exposición (107 a 137 dB) y el rango de repetición (4/s a 1/1024s).

Experimento I

Ochenta y cinco chinchillas adultas sirvieron como sujetos de prueba. Los umbrales auditivos fueron determinados de acuerdo a un electrodo implantado en la cóclea izquierda de los animales, probando 5 días en las frecuencias desde 500 a 16.000 Hz, promediando 5 grabaciones. Los animales fueron expuestos a ruido, bajo una de las condiciones de la tabla I. Las mediciones de los umbrales fueron repetidas a 0,5; 2 y 8 KHz a tiempo de post-exposición 0,25; 2; 8; 24 y 240 horas. La diferencia entre los umbrales de post y preexposición fue el cambio de umbral temporal (TTS) resultante de la exposición a ruido. Los animales fueron reexaminados durante 5 días entre el día 28 y 32. Los términos medios fueron usados para determinar el cambio de umbral permanente (PTS).

Tabla I: Condiciones usadas en el experimento I.

	Grupo A		Grupo B		Grupo C	
Nivel	Rango	Duración Exposición	Rango	Duración Exposición	Rango	Duración Exposición
(dB)						
107	4/s	50 días	1/s	20 días	1/4s	80 días
113	4/s	30 h	1/s	5 días	1/4s	20 días
119	4/s	7,5 h	1/s	30 h	1/4s	5 días
125	4/s	1,8 h	1/s	7,5 h	1/4s	30 h
131	4/s	0,47 h	1/s	1,8 h	1/4s	7,5 h
137	4/s	0,12 h	1/s	0,47 h	1/4s	1,8 h

La exposición a ruido de los animales fue hecha en pequeñas cajas de 31 x 51 x 38 cm, donde tuvieron libre acceso a agua y comida. Bajo estas condiciones los animales fueron expuestos a estallidos de ruido impulsivo de banda ancha sintetizado electrónicamente. Este ruido impulsivo fue ecualizado para parecer a un golpe de martillo en un plato de acero. La señal generada fue con un multiplexor análogo AD 534. La figura 5.4.3.1 muestra la forma de onda y espectro de la señal. La duración del impulso fue de 200 ms medido desde el peak hasta 20 dB por debajo y el tiempo de elevación fue de 12 ms.

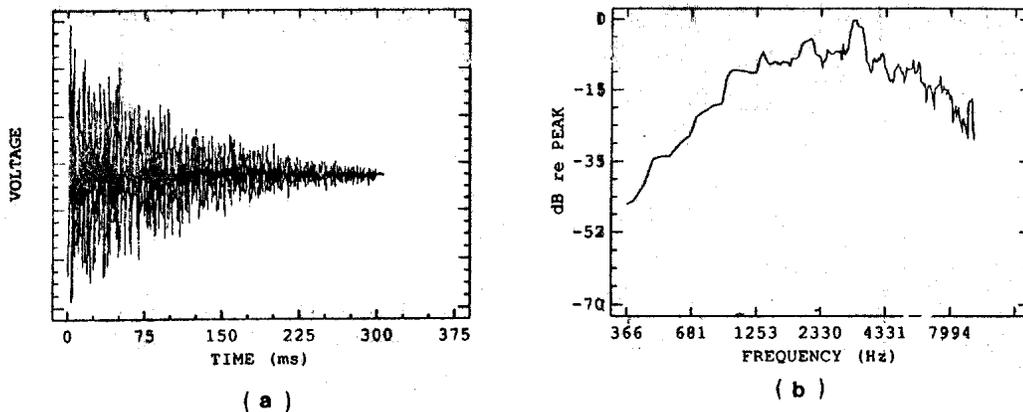


Figura 5.4.3.1: Forma de onda y espectro de la señal del ruido impulsivo.

Después de haber medido el cambio de umbral permanente en los animales, estos fueron anestesiados y decapitados para analizar la cóclea en el microscopio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) **Efecto del Nivel**

Tanto el promedio del cambio temporal del umbral como también el promedio del cambio permanente del umbral son mostrados en la figura 5.4.3.2. El cambio temporal de umbral es menor en baja frecuencia (0,5 KHz) que en alta frecuencia (2 u 8 KHz). Existe además un incremento estable entre el cambio temporal del umbral (30 - 40 dB) y el nivel de presión sonora del impulso entre 107 y 131 dB.

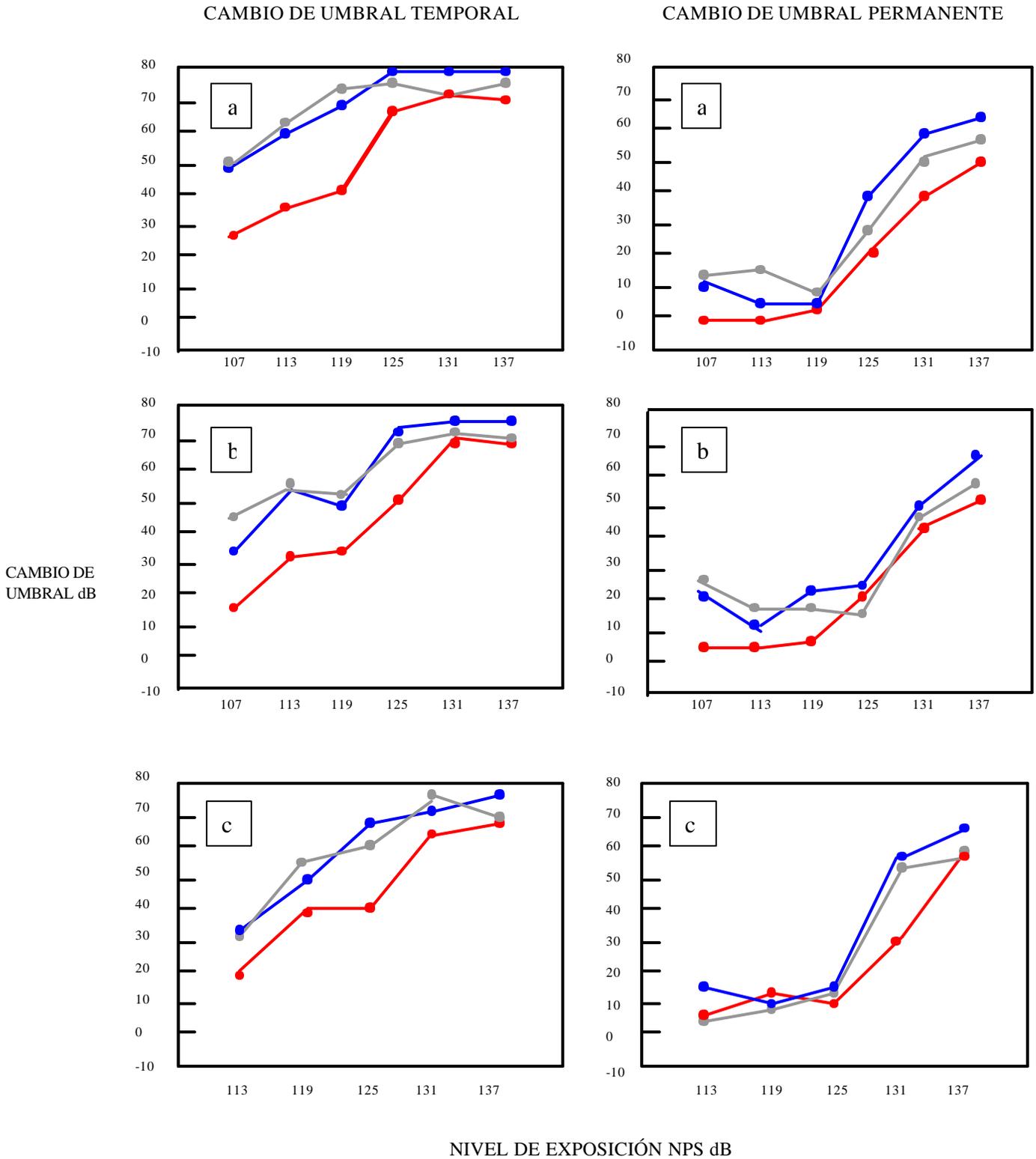


Figura 5.4.3.2: Cambios de Umbral Temporal y Permanente para tres grupos. Cambio de umbral temporal medido a 15 minutos de post exposición. Las frecuencias audiométricas son 0,5 KHz (rojo), 2 KHz (azul) y 8 KHz (gris); (a), (b) y (c), se refieren a los tres grupos en el experimento I.

Cuando el cambio de umbral permanente es comparado entre los grupos, los niveles más bajos de exposición hasta 119 dB tienen resultados muy parecidos entre 10 y 15 dB. Pero para los grupos B y C por sobre los 125 dB y grupo A por sobre los 119 dB, el cambio de umbral permanente sube abruptamente.

b) Variabilidad

La variabilidad fue bastante distinta de acuerdo al nivel de presión sonora del impulso. El grupo expuesto a 113 dB muestra menos variabilidad que el grupo expuesto a 119 dB para la condición de un impulso por segundo. Inclusive la figura 5.4.3.2 muestra que el nivel de transición podría ser 125 dB, mostrando más pérdida auditiva a partir de este nivel.

c) Efecto del Rango

A partir de los niveles más bajos de exposición (125 dB y por debajo), la cantidad de cambio de umbral temporal creció con un rango de repetición más rápido, resultando la condición 4/s con más pérdida que las otras. Sin embargo, para las condiciones de niveles más altos, todas las condiciones de rango resultaron aproximadamente en la misma pérdida auditiva. A niveles más altos (131 y 137 dB), el cambio de umbral permanente fue alto e independiente del rango. A niveles medios (119 y 125 dB) el grupo de 4/s desarrolló mayor cambio de umbral permanente. Sin embargo los resultados apuntaron a una interacción entre nivel, rango y frecuencia.

d) Recuperación del Cambio Temporal del Umbral

En este caso se presentan los casos de exposición a 113 y 125 dB, existiendo una tendencia general en la disminución del cambio con el tiempo. A los 113 dB, la recuperación es total a las 24 horas, pero para 125 dB el cambio de umbral continúa considerablemente más allá de las 24 horas.

Los patrones son dependientes de los rangos de repetición. Para ambos niveles la condición de 1/4s, resultó en un pequeño cambio de umbral temporal a corto plazo, mostrando

una recuperación más gradual que comparado con la condición 4/s. Además a niveles más altos, la recuperación es más complicada.

A continuación la figura 5.4.3.3 muestra la recuperación correspondiente de los umbrales:

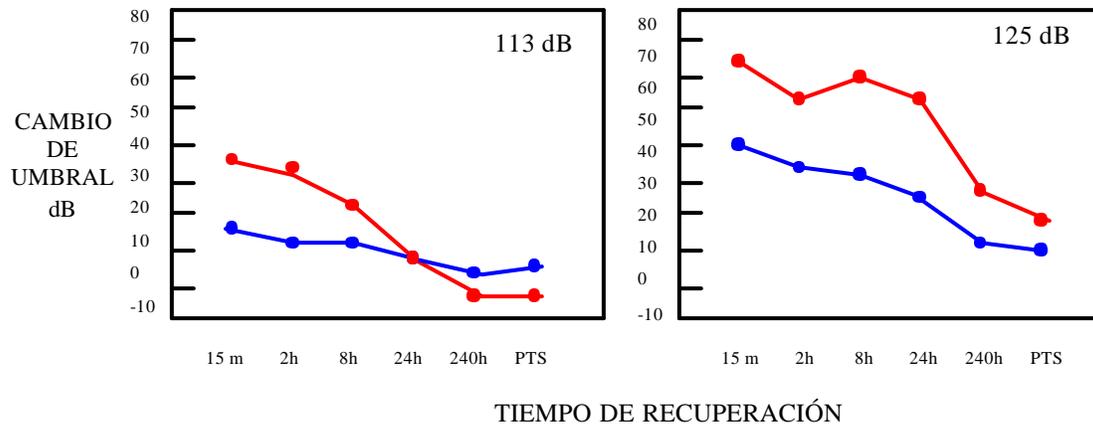


Figura 5.4.3.3: Recuperación de umbrales a 0,5 KHz como una función de tiempo de post exposición. Los dos rangos de presentación son 1/4s (rojo) y 4/s (azul).

e) Pérdida de la Células Ciliadas

La cantidad de pérdida de células ciliadas es aproximadamente la misma por sobre los 119 dB de exposición, siendo un 10% para las células más externas y 5% para las más internas de acuerdo al rollo basal de la cóclea. La cantidad de pérdida de células ciliadas crece rápidamente para 125 dB y para el grupo A. En la figura 5.4.3.4 se puede apreciar la misma tendencia en los tres grupos, exceptuando que la cantidad de pérdida de células ciliadas crece más allá de los 125 dB para los grupos B y C y más allá de los 119 dB para el grupo A. También se puede observar la importancia del rango en la figura 5.4.3.4. Este fue hecho variando de 1/4s a 4/s en el rango de 125 dB, se puede notar que la pérdida de células ciliadas decrece cuando el rango de repetición decrece de 1/4s a 1/s.

El rango de repetición es importante al momento de determinar la cantidad de pérdida de células ciliadas para los grupos de exposición desde 107 a 137 dB. La exposición para todos los

grupos (A, B, C), tuvo la misma cantidad de energía acústica teniendo hipotéticamente la misma cantidad de cambio de umbral temporal, cambio de umbral permanente y pérdida de células ciliadas. Pero la hipótesis de la igual energía no describe adecuadamente el conjunto completo de información. En términos de cambio temporal del umbral, existe un incremento constante de acuerdo al incremento de los niveles peak de exposición. En términos de cambio de umbral permanente y pérdida de células ciliadas, existe un nivel crítico que es por debajo de los 125 dB existiendo concordancia en términos de cambio de umbral permanente (0 a 15 dB) y pérdida de células ciliadas (5 a 10%). En la relación entre pérdida auditiva y nivel existe una tendencia general de más daño auditivo.

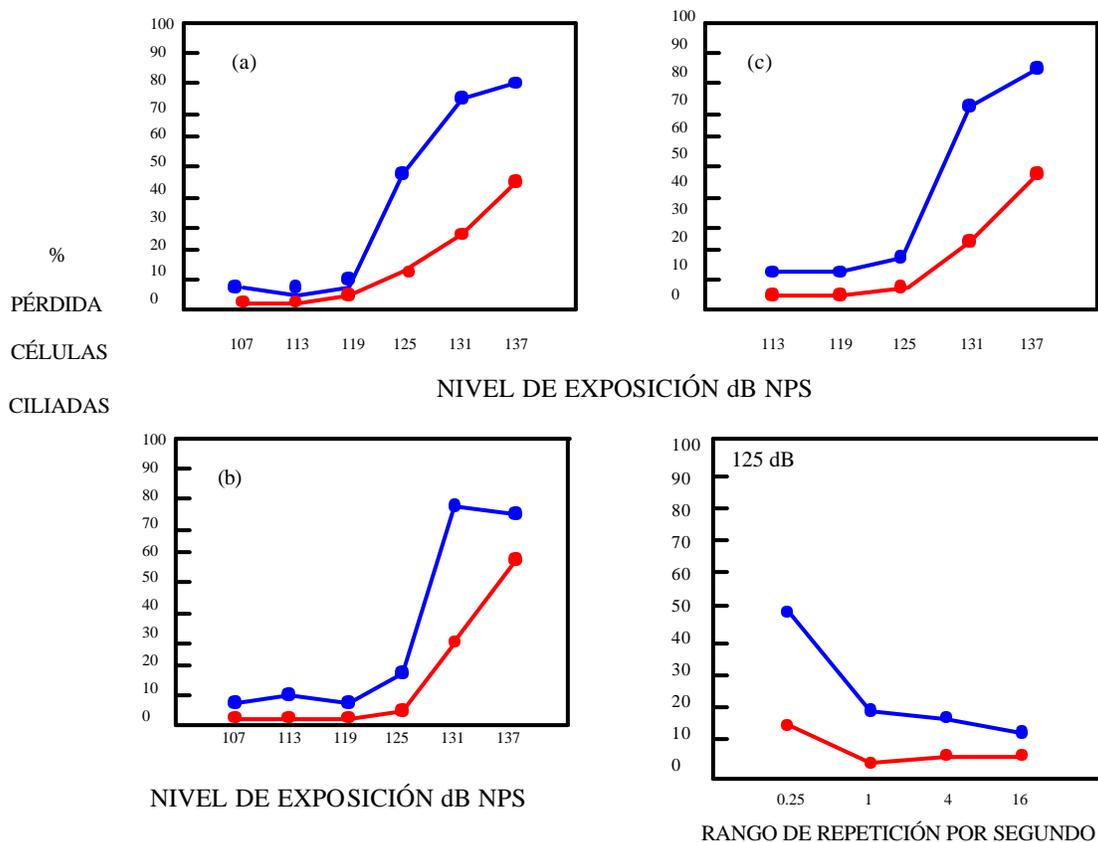


Figura 5.4.3.4: Relación entre el nivel de exposición y cantidad de pérdida de células ciliadas externas (azul) e internas (rojo). La figura inferior derecha muestra el efecto del rango de repetición y pérdida de células ciliadas.

EXPERIMENTO II

Treinta chinchillas adultas fueron usadas en este experimento usando los mismos procedimientos que en el experimento I. El tiempo de exposición fue constante de 5 días, el rango y los niveles están de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla II: Condiciones de exposición usadas en el experimento II.

Nivel (dB)	Rango	Duración de Exposición
107	4/s	5 días
113	1/s	5 días
119	1/4s	5 días
125	1/16s	5 días
131	1/64s	5 días
137	1/256s	5 días

Como resultado del experimento II, se pudo obtener que la pérdida de células ciliadas y la pérdida auditiva, dependen del nivel, pero no de la energía total. Para los niveles hasta 125 dB y rango de 1/16s, existe esencialmente la misma pérdida de células ciliadas, además el mismo cambio de umbral temporal y permanente. Pero a partir de 131 dB se incrementa sustancialmente estos parámetros. A continuación se muestra la figura correspondiente al experimento II:

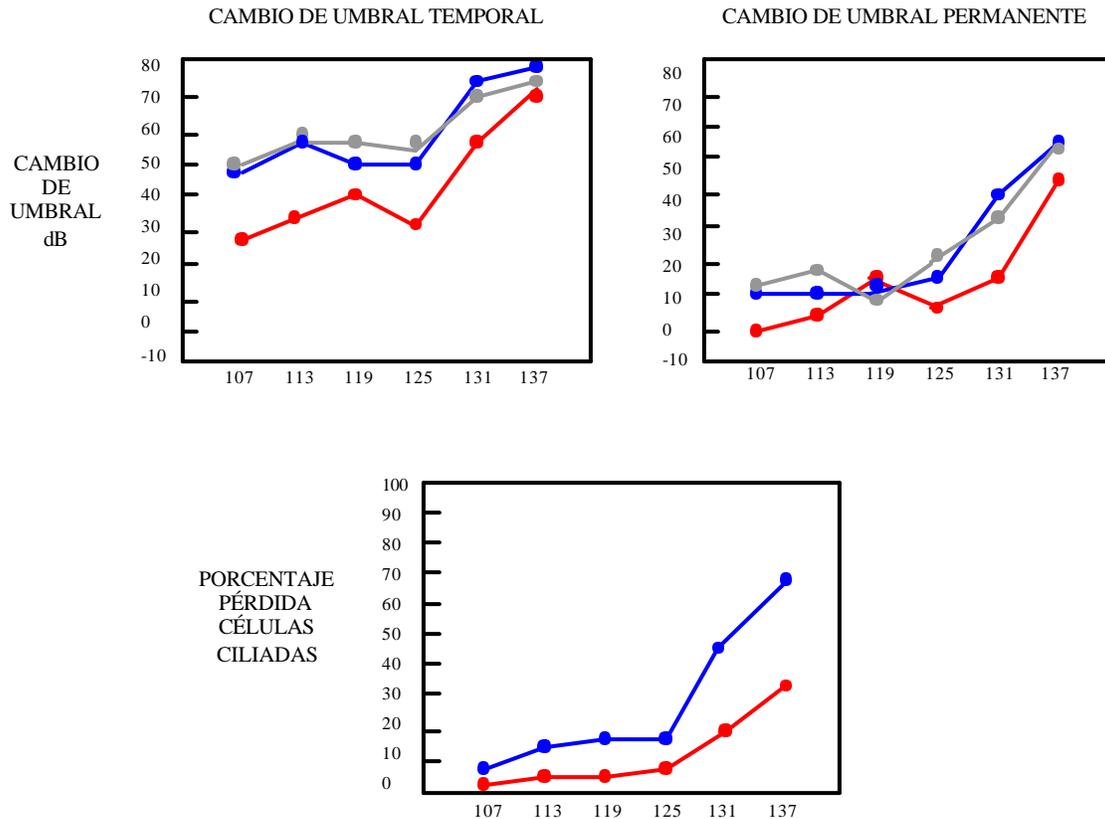


Figura 5.4.3.5: Cambio de umbral temporal y permanente para exposición de igual duración con energía constante interactuando rango de repetición y nivel. Las frecuencias audiométricas son 0,5 KHz (rojo), 2 KHz (azul) y 8KHz (gris). La figura de más abajo muestra la pérdida de células ciliadas externas (azul) e internas (rojo).

DISCUSIÓN

Los descubrimientos de estos experimentos soportarían la hipótesis de que la pérdida auditiva de la exposición a ruido impulsivo, no solamente depende de la energía total, sino que también de la interacción de otros factores como nivel de presión sonora, duración de exposición, rango de repetición y susceptibilidad del animal. Los resultados también apuntan a un nivel crítico entre 119 y 125 dB donde el daño auditivo crece rápidamente con los niveles de presión sonora peak más altos. Además la información práctica mostró que la exposición a niveles superiores a 131 dB, secciones grandes del Órgano de Corti, fueron desgarradas fuera de la

membrana basilar. Así las implicancias de este estudio, son que la energía total no es un buen descriptor de la pérdida auditiva producida por el ruido impulsivo.

5.5 Documentos Complementarios

A continuación se presentan algunos documentos, los cuales están referidos a ruido impulsivo, pero dentro del ámbito legislativo chileno actual.

5.5.1 DECRETO SUPREMO N° 745 del Ministerio de Salud (extracto).

“APRUEBA REGLAMENTO SOBRE CONDICIONES SANITARIAS Y AMBIENTALES BÁSICAS EN LOS LUGARES DE TRABAJO” para Ruido Impulsivo. [16]

Fecha: 08 de Junio de 1993

TITULO IV

DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Párrafo III. De los agentes físicos

1. Del Ruido

Artículo 70°: Se considera ruido de impacto a aquel cuya frecuencia no sobrepasa un impacto por segundo.

Artículo 71°: Los niveles de presión sonora máximos de exposición a ruido de impacto por jornada de trabajo de 8 horas dependerán del número total de impactos en dicho período, de acuerdo con la siguiente tabla:

Número de Impactos por Jornada de 8 Horas	Nivel de Presión Sonora Máximo (dB)
100	140
500	135
1000	130
5000	125
10000	120

Los valores de la tabla se entenderán para trabajadores expuestos sin protección auditiva.

Artículo 72º: En los lugares de trabajo no se permitirá que trabajadores carentes de protección auditiva estén expuestos a ruidos de impacto que sobrepasen un nivel de presión sonora de 140 dB.

5.5.2 DECRETO SUPREMO N° 594, Ministerio de Salud (extracto)

“APRUEBA REGLAMENTO SOBRE CONDICIONES SANITARIAS Y AMBIENTALES BÁSICAS EN LOS LUGARES DE TRABAJO” para Ruido Impulsivo. [17]

29 de abril del 2000

Párrafo III

De los agentes físicos

1. DEL RUIDO

1.2 RUIDO IMPULSIVO

Artículo 78: En la exposición a ruido impulsivo se deberá medir el nivel de presión sonora peak (NPS peak), expresados en decibeles ponderados "C", es decir, dB (C) peak.

Artículo 79: La exposición ocupacional a ruido impulsivo deberá ser controlada de modo que para una jornada de 8 horas diarias ningún trabajador podrá estar expuesto a un nivel de presión sonora peak superior a 95 dB (C) peak, medidos en la posición del oído del trabajador.

Artículo 80: Niveles de presión sonora peak diferentes a 95 dB (C) peak, se permitirán siempre que el tiempo de exposición a ruido del trabajador no exceda los valores indicados en la siguiente tabla:

NPS peak [dB (C)]	Tiempo de exposición por día		
	Horas	Minutos	Segundos
90	24,00		
91	20,16		
92	16,00		
93	12,70		
94	10,08		
95	8,00		
96	6,35		
97	5,04		
98	4,00		
99	3,17		
100	2,52		
101	2,00		
102	1,59		
103	1,26		
104	1,00		
105		47,62	
106		37,8	
107		30,00	
108		23,80	
109		18,90	
110		15,00	
111		11,90	
112		9,40	
113		7,50	
114		5,90	
115		4,70	
116		3,75	
117		2,97	
118		2,36	
119		1,88	
120		1,49	
121		1,18	

122			56,25
123			44,65
124			35,44
125			28,13
126			22,32
127			17,72
128			14,06
129			11,16
130			8,86
131			7,03
132			5,58
133			4,43
134			3,52
135			2,79
136			2,21
137			1,76
138			1,40
139			1,11
140			1,00

Estos valores se entenderán para trabajadores expuestos sin protección auditiva personal.

Artículo 81: En ningún caso se permitirá que trabajadores carentes de protección auditiva personal estén expuestos a niveles de presión sonora peak superiores a 140 dB (C) peak, cualquiera sea el tipo de trabajo.

Artículo 82: Cuando un trabajador utilice protección auditiva personal, se entenderá que se cumple con lo dispuesto en los artículos 75 y 80 del presente reglamento si el nivel de presión sonora efectivo no sobrepasa los límites máximos permisibles establecidos en las tablas indicadas en tales artículos.

Para los efectos de este reglamento se entenderá por nivel de presión sonora efectiva la diferencia entre el nivel de presión sonora continua equivalente o el nivel de presión sonora peak,

según se trate de ruido estable, fluctuante o impulsivo respectivamente, y la reducción de ruido que otorgará el protector auditivo. En ambos casos la reducción de ruido será calculada de acuerdo a las normas oficiales vigentes en materia de protección auditiva.

Durante este trabajo se ha recolectado y mostrado información que respalda la idea que los parámetros físicos en la medición de ruido impulsivo actualmente en los lugares de trabajo, es insuficiente. Además de esta idea, es importante considerar que una correcta medición tiene que estar inmersa dentro de un programa de criterios en la cual se vean reflejados muchos factores, principalmente la medición de ruido y su evaluación. Por consiguiente se presenta un protocolo de control y seguimiento para trabajadores expuestos a ruido, realizado por el Ministerio de Salud en el año 1995.

5.5.3 “Protocolo de Control y Seguimiento Trabajadores Expuestos a Ruido y/o con Sordera Profesional”, Santiago – Chile 1995 [18]

Resumen

Introducción

Es difícil concebir actualmente una realización de un diagnóstico integro del ruido en los ambientes del trabajo a escala nacional. La poca evaluación sistemática de los programas actuales y la ausencia de un protocolo en común mínimo, entorpece inclusive a mediano plazo cualquier intento de evaluación de las acciones que se realizan. Por otro lado, la organización Unidades de Salud Ocupacional en el Servicio de Salud en el ámbito nacional, enfrenta al sector publico a la tarea inevitable de elaborar y aplicar “programas de conservación auditivas” y en un sentido más amplio Programas de Protección de la Salud frente al factor de riesgo de ruido presente en el entorno del trabajo.

Dentro de los trabajadores es muy recurrente la hipoacusia neurosensorial, por ende los programas deben ser enfocados en el principio del control y seguimiento de los trabajadores expuestos a ruido. Con esto se pone énfasis en la voluntad de disminuir el factor de riesgo en la exposición.

Dentro del programa se debe considerar dos etapas:

- ❑ Actividades en terreno, evaluación ambiental (higiene industrial) y actividades de pesquisa.
- ❑ Actividades de evaluación diagnóstica.

Normas y Procedimientos

El reglamento a seguir es el Decreto Supremo N° 745 de 1993, en sus artículos 64 al 72 y que corresponde al “Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo”. El cumplimiento de la norma se verifica por simple comparación entre los resultados obtenidos y los valores establecidos por norma.

Nota: En la actualidad, la normativa vigente es el Decreto Supremo N° 594 del 2000 en sus artículos 70 al 82, que modifica al Decreto Supremo N° 745 de 1993.

Los procedimientos a utilizar son aquellos descritos por la norma, además en el proceso de evaluación y procesamiento de datos se debe considerar: técnicas de medición, lugares de medición, condiciones de operación, tiempos de exposición y/o cualquier otro elemento que permita un panorama más amplio del ambiente laboral, describiendo si es una situación ambiental o la del individuo.

i. Aspectos y Consideraciones Ambientales

La consideración de los aspectos ambientales, es complementar la evaluación del individuo en la exposición diaria en su entorno de trabajo.

Las mediciones deben considerar todas las locaciones, procesos productivos para poder determinar niveles de presión sonora en dichos lugares. Además se debe incorporar tiempos de los procesos productivos, exposición del trabajador a dichos procesos y tipos de productores de ruido (espectro en frecuencia).

ii. Aspectos y Consideraciones Individuales

Para la evaluación del individuo, el parámetro más representativo es el nivel de presión sonora continuo equivalente, el cual deberá ser determinado independiente del tipo de ruido presente en el ambiente laboral.

Debido a la naturaleza fluctuante de los procesos productivos en la industria, es importante incorporar las mediciones de ruido en todas las posiciones del trabajador obteniendo un valor más representativo de la exposición.

La evaluación del trabajador debe realizarse mediante un muestreo estadístico considerando etapas o lugares de trabajo estableciendo una estrategia adecuada de muestreo.

Dicha estrategia debe responder las siguientes preguntas:

- a) ¿Cuáles trabajadores deben ser muestreados?
- b) ¿Cuántas mediciones se deben realizar?
- c) ¿Cuánto tiempo de medición?
- d) ¿Qué periodo del trabajo se debe muestrear?

Además se puede agregar las siguientes situaciones dentro de la estrategia:

- ❑ *Muestreo de tiempo completo*: Potencialmente el trabajador está expuesto a ruido durante toda su jornada de trabajo.
- ❑ *Muestreo del trabajador en máximo riesgo*: Evaluación de la situación más extrema de exposición a ruido, previo diagnóstico del entorno.
- ❑ *Muestreo aleatorio*: Consiste en seleccionar al azar trabajadores teniendo en cuenta que la muestra sea significativa, para que al menos esté un trabajador en la situación más extrema.

El objetivo final de la estrategia o programa de control y seguimiento, es evitar que el trabajador adquiera la enfermedad profesional que para este caso es la sordera profesional. El programa considerará métodos de control de ruido, entendido como medida correctiva, para mejorar las condiciones ambientales del trabajador.

Fundamentalmente los métodos de control consisten en:

- a) Planificación inicial y final, considerando diseños adecuados de estructuras selección de equipos y maquinaria, planificación de ubicación de procesos, etc., sin perder de vista el control del ruido.
- b) Reemplazo de equipos por otros más silenciosos.
- c) Medidas de control de ruido como encierros y maquinaria en general.
- d) Segregación del personal, limitación de los tiempos de exposición, realizar cambios en la forma de trabajo, etc.
- e) Adecuada conservación de los equipos de trabajo (lubricación, balanceo estático dinámico, transmisión de movimientos, etc.)
- f) Selección adecuada de elementos de protección personal como protectores auditivos.

En general las situaciones de ruido son tan variadas dentro de la industria, que no es posible aplicar un estándar único en todas las situaciones, pero si es posible considerar normas básicas en el planteamiento de cualquier programa de evaluación a exposición a ruido.

1. Aplicación de la normativa vigente.
2. Si el trabajador está expuesto a ruido continuo, será suficiente realizar mediciones puntuales de acuerdo a la configuración requerida por la normativa.

3. Si el trabajador está expuesto a ruido intermitente, ya sea por los procesos, o bien, se desplaza en la jornada de trabajo, se podrá elegir una de las dos situaciones que a continuación se detallan:
 - i. Efectuar mediciones de nivel de presión sonora equivalente, o bien, realizar mediciones de ruido de acuerdo a los tiempos de duración de los eventos determinando la dosis diaria de exposición a ruido. Las mediciones se deben realizar en todas las locaciones donde esté el trabajador.
 - ii. Realizar mediciones con dosímetro portátil durante toda la jornada de trabajo, con el micrófono ubicado en la zona más próxima al oído.
4. Para la medición de ruido impacto o impulso, se deberá utilizar la opción adecuada o utilizar un sonómetro para impulsos.
5. La calibración debe ser periódica por lo menos antes de cada medición, o de acuerdo al fabricante.
6. El micrófono del sonómetro deberá ser omnidireccional.

6. ESTUDIO DE CASOS

De acuerdo a la información obtenida de los antecedentes de este estudio, se puede apreciar que los casos más típicos de exposición a ruido impulsivo se encuentran en zonas, recintos y personal involucrado con armamento, o sea, instituciones de las Fuerzas Armadas.

Por este motivo se realizó la gestión necesaria para realizar mediciones en la industria de construcción de armamento dependiente del Ejército de Chile, FAMA E.

En estas mediciones se realizaron en el mes de octubre del 2001 en el polígono de prueba de FAMA E, midiendo la exposición a ruido de un operario disparando armamento. Las mediciones realizadas corresponden al siguiente tipo de armamento de guerra:

1. Subametralladora SAF, calibre 9 mm sin silenciador.
2. Subametralladora SAF, calibre 9 mm con silenciador.
3. Fusil 543-1, calibre 5.56 mm cañón corto.
4. Fusil 540-1, calibre 5.56 mm cañón largo.
5. Fusil 542-1, calibre 7.62 x 51 mm.

6.1 Instrumentación Utilizada [19]

Las mediciones se realizaron con un Analizador a Tiempo Real Larson Davis Modelo 2900B:

Características del instrumental de medición.

- ❑ Analizador de frecuencias de dos canales, con filtro de 1/1 y 1/3 de octava, de 0,1 Hz a 20 KHz ó FFT hasta 800 líneas de resolución.
- ❑ Sonómetro digital de dos canales –ANSI / IEC, exactitud Tipo 1.
- ❑ Potencia sonora e Intensidad Acústica (opcional).
- ❑ Medición de eventos transientes.
- ❑ Acústica arquitectónica.
- ❑ Análisis modal.
- ❑ Unidad de disco de 3 1/2" (opcional).

Especificaciones

- ❑ Rango de medición – 10 a 172 dB con transductor apropiado.
- ❑ Detector digital verdadero de 0,1 dB de resolución
- ❑ Rango dinámico >80 dB (en modo de nivel de presión sonora, >100 dB)
- ❑ Memoria hasta 4 Mb.
- ❑ Filtros digitales de tiempo real a 1/1 y 1/3 de octava ANSI S1.11-1986 Tipo 0-AA y Tipo 1-D, IEC225, IEC1260 clase 0 y clase 1. Análisis de 100, 200, 400 y 800 líneas para FFT.



Figura 6.1.1: Analizador a tiempo real Larson Davis modelo 2900B.

6.2 Metodología

En primer lugar, se ubicó el micrófono del analizador a tiempo real, a la altura del oído del operario. En segundo lugar se configuró el analizador a tiempo real de la siguiente forma:

- ❑ Muestreo de tiempo: 0,04 segundos.
- ❑ Resolución de la FFT: 400 líneas (muestra por cada 50 Hz, de 0 a 20.000 Hz)
- ❑ Ventana Rectangular.
- ❑ Respuesta del Analizador a Tiempo Real: 1/64 de segundos (0,015 segundos).
- ❑ Rango dinámico 80 dB.

En el modo FFT, el Analizador a Tiempo Real Larson Davis modelo 2900B, no permite respuesta peak, por lo tanto, se utilizó la respuesta más rápida que permite ese instrumento en el modo indicado.

En el momento mismo de la medición, el operador del analizador a tiempo real, da inicio a la grabación y luego mediante una señal visual, indica al operario que dispare el armamento, transcurriendo aproximadamente 3 segundos en todo el procedimiento.

Para el procesamiento de los datos, se usó un software utilitario correspondiente al Analizador a Tiempo Real Larson Davis 2900B, descargado desde la página de Internet de Larson Davis, que permitió el cambio de formato de código binario a código ASCII de la información recuperada en las mediciones. De este modo se pudo traspasar los datos a una planilla de cálculo donde se graficaron los datos obtenidos.

Debido a la gran cantidad de datos obtenidos, se resumen los valores más importante obtenidos para cada medición.

A continuación se presentan los gráficos obtenidos de todas las mediciones realizadas en el polígono de prueba de disparo en FAMAE, gráficos de nivel de presión sonora versus tiempo y gráficos de nivel de presión sonora versus frecuencia.

Los gráficos presentados en función de la frecuencia, representan el espectro de los disparos en la instancia del máximo nivel encontrado durante el tiempo de medición.

Medición N° 1

Medición de un disparo de la subametralladora SAF calibre 9 mm sin silenciador.

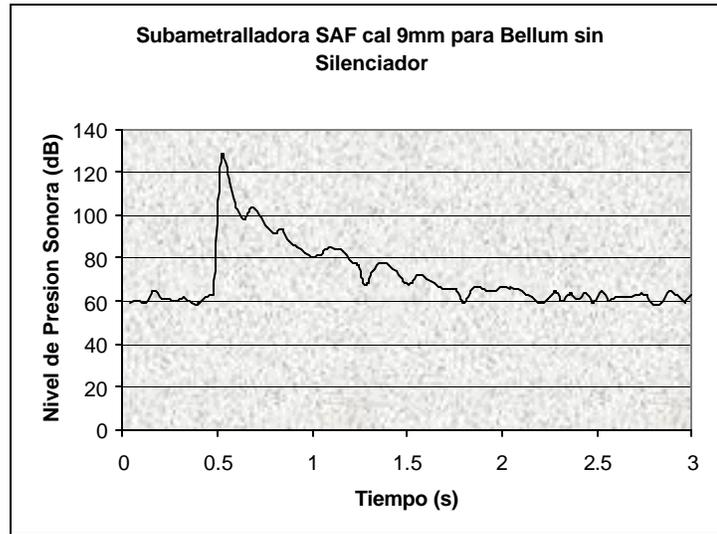


Figura 6.2.1.1: Gráfico en el dominio del tiempo.

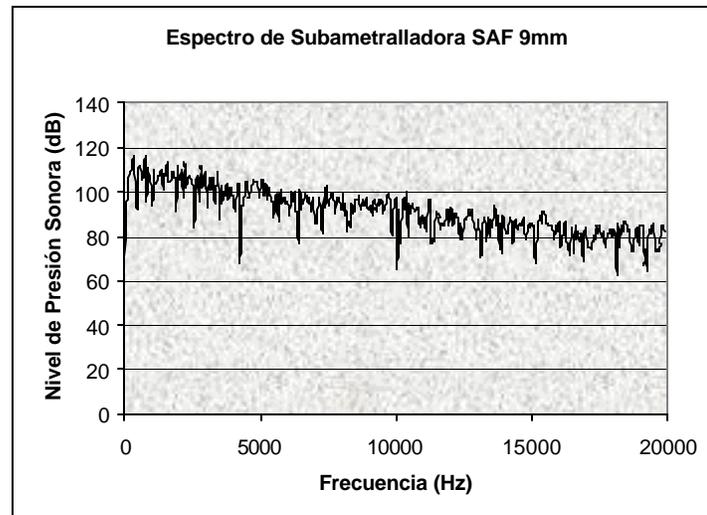


Figura 6.2.1.2: Gráfico en el dominio de la frecuencia

6.2.2 Medición N° 2

Medición de un disparo de la subametralladora SAF calibre 9 mm con silenciador.

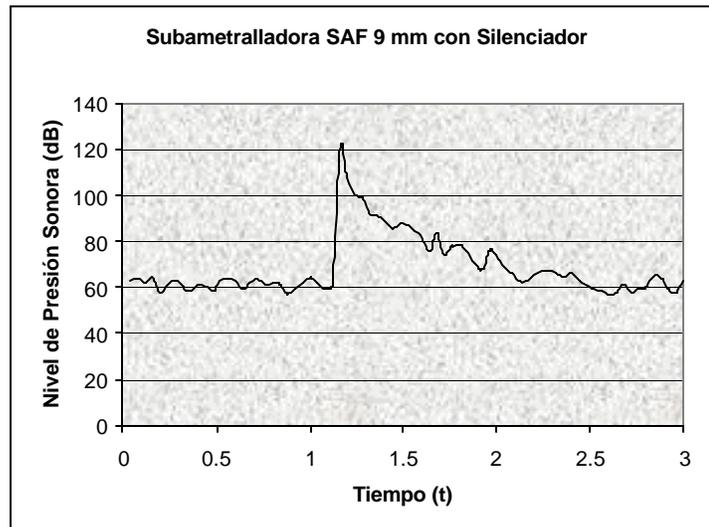


Figura 6.2.2.1: Gráficos en el dominio del tiempo.

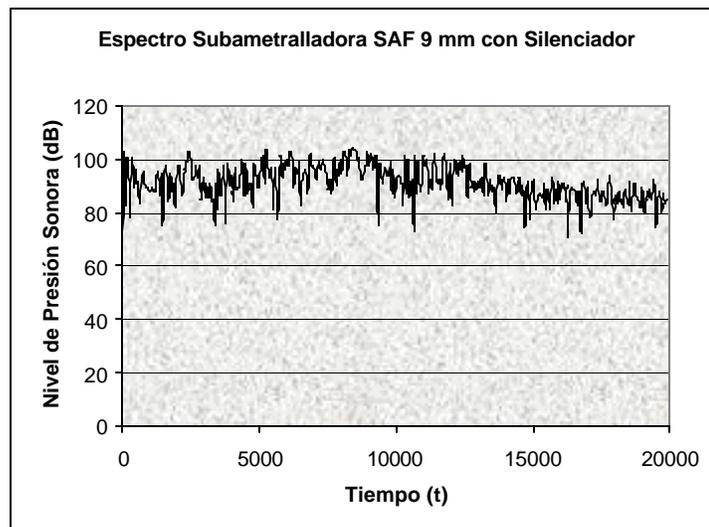


Figura 6.2.2.2: Gráfico en el dominio de la frecuencia.

Comparación de espectros medidos de la subametralladora SAF sin y con silenciador.

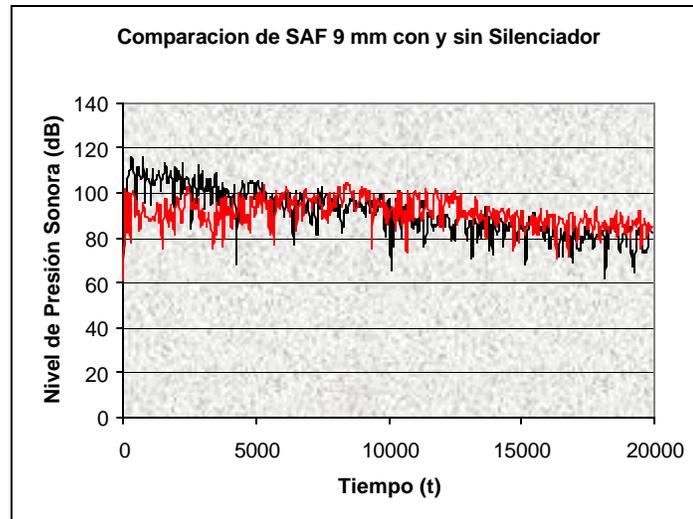


Figura 6.2.2.3: Gráfico en el dominio de la frecuencia.

6.2.3 Medición N°3

Medición de un disparo de Fusil 543-1, calibre 5.56 mm, cañón corto.

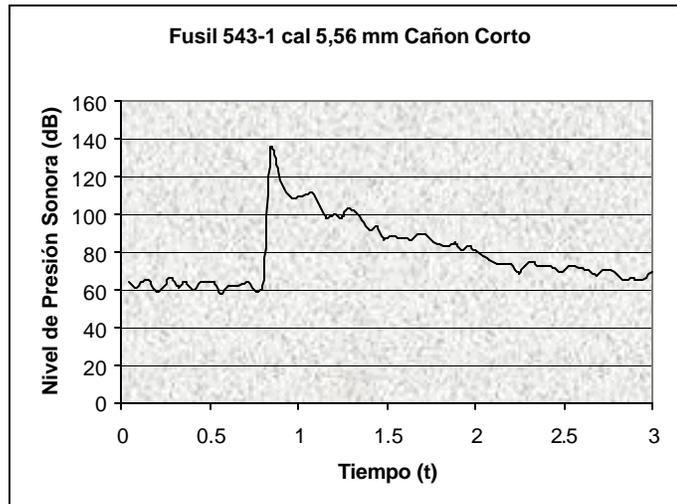


Figura 6.2.3.1: Gráfico en el dominio del tiempo.

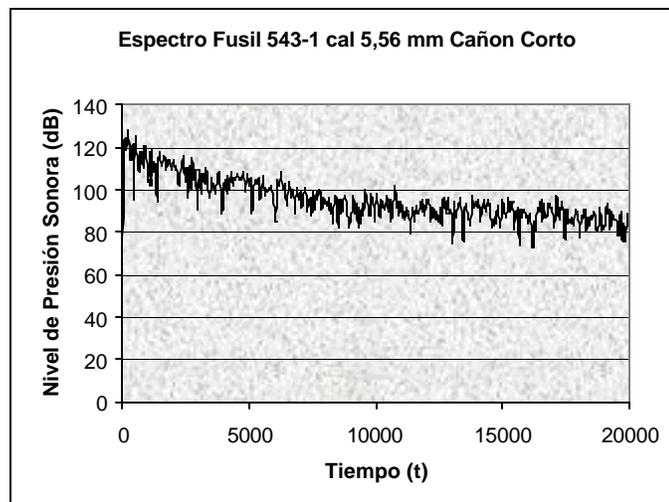


Figura 6.2.3.2: Gráfico en el dominio de la frecuencia.

6.2.4 Medición N°4

Medición de un disparo de Fusil 540-1, calibre 5,56 mm, cañón largo.

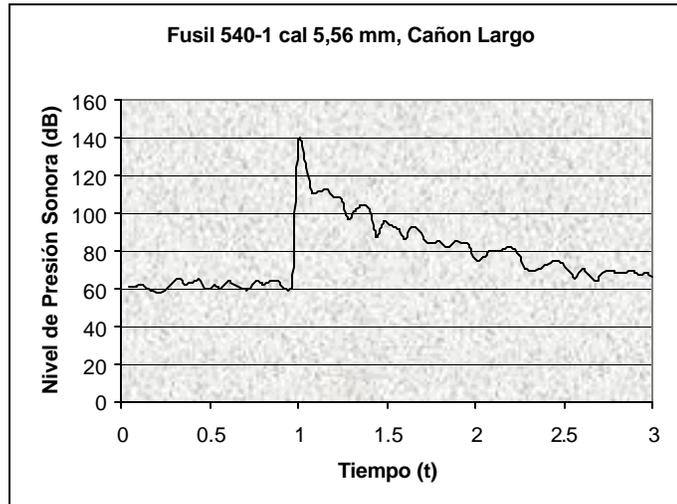


Figura 6.2.4.1: Gráfico en el dominio del tiempo.

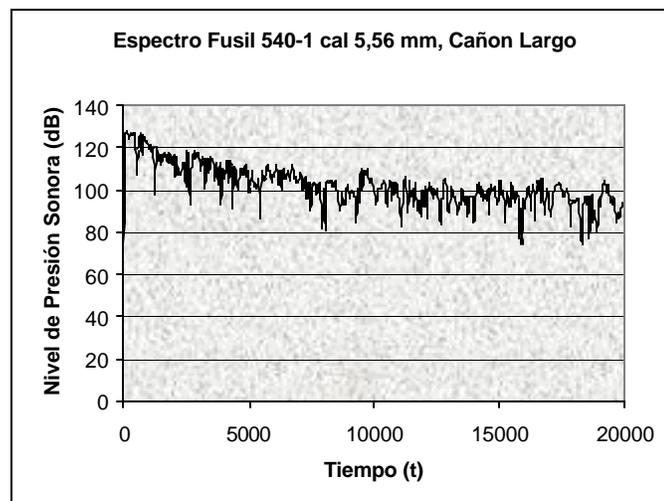


Figura 6.2.4.2: Gráfico en el dominio de la frecuencia.

6.2.5 Medición N°5

Medición de un disparo de Fusil 542-1 calibre 7.62 x 51 mm.

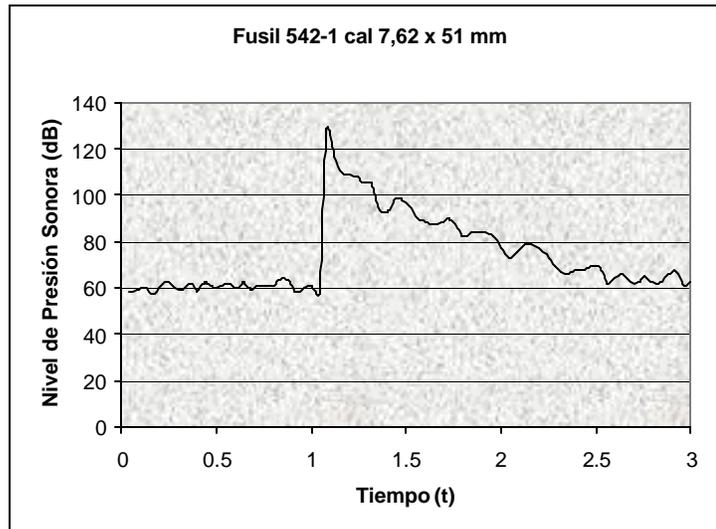


Figura 6.2.5.1: Gráfico en el dominio del tiempo.

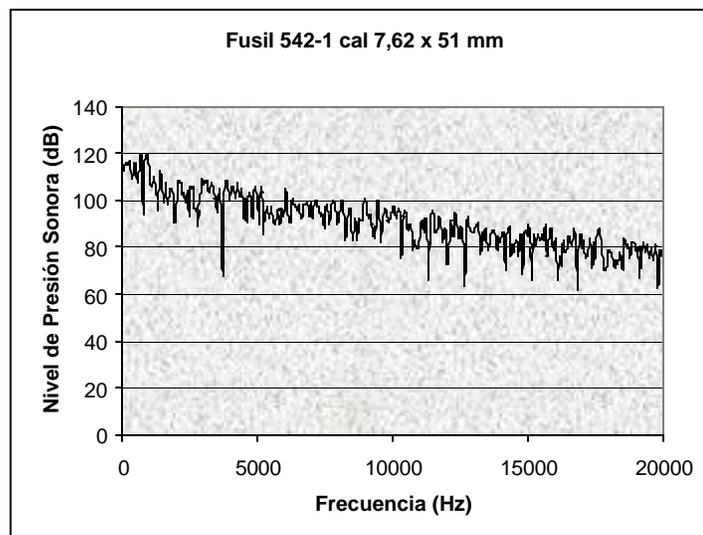


Figura 6.2.5.2: Gráfico en el dominio de la frecuencia.

Reconstruyendo el valor del nivel de presión sonora instantáneo máximo, a partir de las mediciones de los espectros del armamento, se obtuvieron los siguientes resultados ponderados en la misma curva (ponderación “C”) que indica el Decreto Supremo N° 594 del 2000 del Ministerio de Salud (MINSAL), determinado por el marco de exposición a ruido laboral actual:

Tabla N°3: Resultados de las mediciones de ruido realizadas a armamento de guerra.

Medición	Armamento	Nivel de Presión Sonora instantáneo dB	Nivel de Presión Sonora instantáneo dB(C)	Tiempo límite máximo de exposición a ruido impulso, según D.S. N° 594 del 2000 del MINSAL
1	Subametralladora SAF sin silenciador cal. 9 mm	120,1	120,0	1,49 minutos
2	Subametralladora SAF con silenciador cal. 9 mm	111,3	110,2	15 minutos
3	Fusil 543-1 cal. 5,56 mm Cañón Corto	133,9	133,5	4,43 segundo
4	Fusil 540-1 cal. 5.56 mm, Cañón Largo.	137,7	137,4	1,76 segundos
5	Fusil 542-1 cal. 7.62 x 51 mm	127,9	127,0	17,72 segundos

Nota: Los valores obtenidos representan los niveles de presión sonora máximos instantáneos medidos en el momento mismo del disparo.

6.3 Resumen de los Datos Obtenidos

Por la gran cantidad de datos obtenidos, enseguida se presentan algunos de ellos obtenidos en las mediciones de ruido de armamento. Espectros encontrados en el momento del disparo.

Tabla N°4: Resumen de los espectros de frecuencia de los disparos medidos.

Frecuencia (Hz)	Medición 1 SAF sin silenciador (dB)	Medición 2 SAF con silenciador (dB)	Medición 3 Fusil 543-1 cal. 5,56 mm Cañón Corto (dB)	Medición 4 Fusil 540-1 cal. 5.56 mm, Cañón Largo (dB)	Medición 5 Fusil 542-1 cal. 7.62 x 51 mm (dB)
50	93	101.8	61.3	125.4	113.1
100	97.6	82.5	121.5	127	116
150	106.7	100	124.2	127.9	115.8
200	109.5	96.1	118.1	123.6	114.7
250	110.9	77.9	127.6	126.5	116.8
300	115.9	99.3	119.3	125.9	109.3
400	98.3	89.1	121.2	127.5	112.9
500	109.9	90.5	124.8	107.2	113.2
650	105.6	87.7	108.7	126.4	119.4
800	95.3	90.8	110.3	125.3	115.9
1000	94.3	87.9	104.5	119.3	111.2
1250	107.1	95.2	112.7	97.5	105.1
1600	104.7	93.3	116.2	117	107.1
2000	105.3	97.4	113.8	116.6	102
2500	103	99	108.7	101.3	105.8
3150	100.8	85.7	107	115.4	105.2
4000	97.8	88	101.2	108.7	104.4
5000	103.4	94	101.5	98.4	99.3
6300	92.6	96.8	100.1	99.5	100.4
8000	92.3	94.2	93.2	100.6	95
10000	97.1	90.4	97.7	101.6	97.6
12500	85.2	96.9	84.9	12500	88.9
16000	86.1	85	84.2	91	83.6
20000	82.5	84.8	88.1	93.5	75.9

A continuación se presentan algunas imágenes de las mediciones realizadas en el polígono de prueba de armamento en la industria FAMA E.

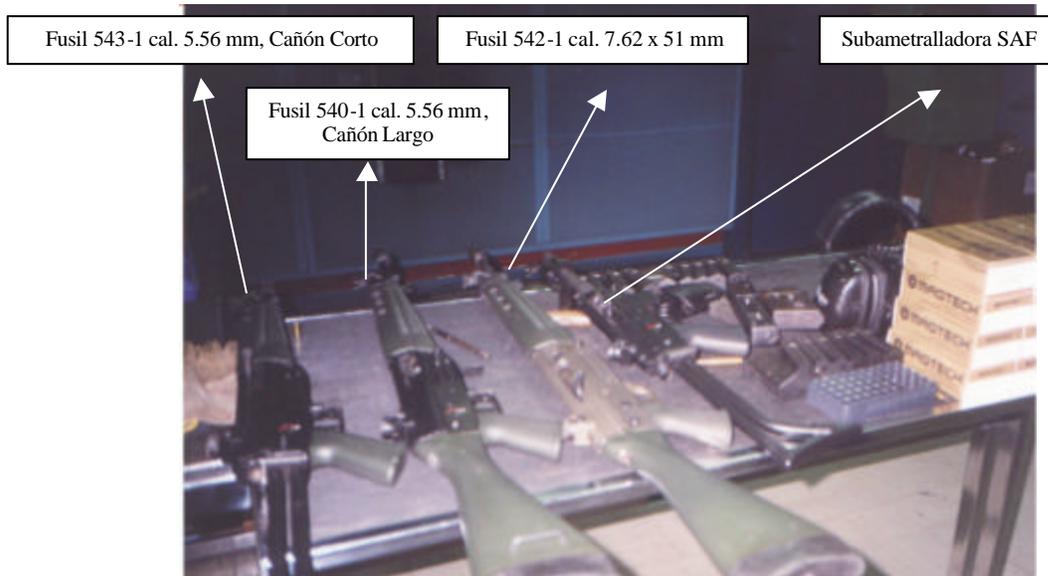


Imagen 1: Armamento medido en el polígono de prueba.



Imagen 2: Medición in situ del ruido impulsivo de armamento.



Imagen 3: Operario disparando armamento.

Se debe indicar que el polígono de prueba está acondicionado acústicamente, presentando material absorbente en sus paredes laterales y en su cielo raso.

Se pudo observar que todos los operarios que trabajan dentro del recinto del polígono de tiro de la fábrica de armamento FAMA E, tienen algún grado de pérdida auditiva. El operario encargado del ajuste del armamento (imagen 3) manifestó tener 80% de pérdida auditiva en el oído izquierdo y un 60% en el oído derecho, pérdida auditiva caracterizada de acuerdo a la posición del tirador de posición derecha. La medición de los umbrales auditivos o audiometrías, fueron realizadas por el departamento de prevención de riesgos de dicha fábrica.

6.4 Discusión de las Mediciones

- i. En las mediciones de ruido realizadas al armamento citado anteriormente, se apreció que el tiempo de elevación de las muestras fue muy rápido ($< 1/64$ segundo), ya que de un intervalo de medición a otro, en todas las muestras, hubo un cambio muy abrupto en el nivel de presión sonora medido, aproximadamente 80 dB.
- ii. Observando los espectros de cada disparo realizado, se identifica que los niveles de presión sonora medidos, promedian por sobre los 80 (dB) en todas las frecuencias hasta el valor de los 10.000 Hz, en cada muestra.
- iii. En cada disparo realizado, se pudo apreciar que la mayor cantidad de energía acústica se encuentra en el rango de las bajas frecuencias, exceptuando la medición realizada a la subametralladora con silenciador, donde su espectro en frecuencia se presentó más plano comparado con los otros espectros medidos.
- iv. Se puede observar que el rango de atenuación del silenciador de la subametralladora SAF, se encuentra por debajo de los 5.000 Hz.
- v. El Decreto Supremo N° 594 indica que la medición de ruido impulsivo se debe realizar con respuesta “peak” del instrumento. En este caso, se realizaron las mediciones con una respuesta un poco más lenta ($1/64$ segundo), ya que el instrumental de medición no tiene la opción “peak” para la medición de espectro de frecuencia (FFT).
- vi. Se debe entender que los valores de exposición a ruido impulsivo no consideran espectro, ni cantidad de impulsos por jornada de trabajo, solo basta que exista un solo impulso de ese nivel en el lugar de trabajo para implementar los límites de exposición que considera la normativa actual (D.S. 594/2000). Además los valores indicados en la tabla resumen, corresponden a una exposición a ruido impulsivo sin protección auditiva.

7. CONCLUSIONES

De acuerdo con toda la información obtenida en este estudio se puede concluir lo siguiente:

- I. En ambientes laborales, el ruido impulsivo puede ser tan o más dañino que el ruido continuo si se considera que ambos cuentan con la misma energía y distribución espectral de frecuencias. Además se puede indicar que principalmente el tipo de daño producido por el ruido impulsivo es de carácter mecánico, ya que la exposición a este tipo de ruido puede producir rotura de membrana timpánica y desgarramiento de la estructura del oído medio (martillo, yunque y estribo).
- II. Se puede definir ruido impulsivo como aquel ruido que no es mayor a 1 segundo en su duración y que está al menos 20 dB por encima del ruido de fondo. Esta idea se sustenta en el caso límite que se presenta para la definición de tiempo de duración A, indicada en la normativa ISO10843. En el caso de que el tiempo de duración del ruido impulsivo sea menor a 200 milisegundos, se debe indicar que es un ruido peligroso, ya que por la característica del tiempo de respuesta del reflejo auditivo puede producir daño auditivo.
- III. El valor de nivel de presión sonora límite sin protección auditiva, concordante en por la mayoría de los documentos de este estudio, indica que no debe ser mayor a 140 dB.
- IV. Para las mediciones de ruido impulsivo se debe tener en cuenta como mínimo los siguientes parámetros en la medición.
 - IV.1. Posición del micrófono.
 - IV.2. Nivel de presión sonora instantáneo.
 - IV.3. Tiempo de duración del impulso.
 - IV.4. Rango de repetición.
 - IV.5. Espectro en frecuencias.

- V. Las características mínimas y la configuración del instrumental para medir ruido impulsivo debe ser:
- V.1. Instrumento de medición que cumpla con los estándares internacionales actuales de medición, al menos IEC 804 de “Sonómetros Integradores”, exactitud tipo 2.
 - V.2. Respuesta peak, impulsiva o cualquier respuesta que sea más rápida que el reflejo auditivo (200 milisegundos).
 - V.3. Contar con equipamiento mínimo para poder realizar un análisis de las distribución del espectro en frecuencias del ruido impulsivo (software, analizador a tiempo real, etc.).
- VI. El Decreto Supremo N° 594 del 2000 del Ministerio de Salud, considera la medición de ruido impulsivo con respuesta peak y ponderación “C”. Esta ponderación es una buena cuantificadora de la exposición a dicho ruido, ya que esta curva de ponderación representa en forma aproximada, el comportamiento del oído para niveles de presión sonora muy altos. Pero se debe tener especial cuidado con los ruidos impulsivos que contienen mayor cantidad de componentes en frecuencias medias-altas, debido a que el reflejo auditivo presenta menos protección en ese rango de frecuencias, con lo cual se hace necesario un análisis del espectro en frecuencia de este tipo de ruido.
- VII. De acuerdo a la información obtenida en algunas publicaciones (NIOSH), el ruido impulsivo puede ser analizado en conformidad a la regla de igual energía, partiendo de la premisa que el daño auditivo es proporcional a la cantidad de energía acústica de exposición. Por otro lado, estudios publicados en las revistas científicas del Journal Acoustical Society of America indican que existe un nivel crítico de exposición al ruido impulsivo (entre 119 y 125 dB) en el cual el daño producido en las células ciliadas del oído interno crece con mayor rapidez. Este último antecedente indica que ruido impulsivo no tiene un buen comportamiento en función al principio de igual energía, por lo tanto los valores de exposición a ruido impulsivo presentados por el Decreto Supremo N° 594 del 2000 del Ministerio de Salud son cuestionables. Esta idea está enfocada de manera tal que los límites de exposición a ruido impulsivo sean óptimos para que trabajadores expuestos a este tipo de ruido no presenten daño auditivo.

- VIII. Al realizar la medición se debe considerar el parámetro de duración del ruido impulsivo y se pueden utilizar los siguientes tipos de duraciones de acuerdo a normativa ISO 10843:
- VIII.1. Duración A, en el caso de que las mediciones se realicen en ambientes “secos”, o sea, poco reverberantes (20 dB por debajo del peak)
 - VIII.2. Duración C, el caso de mediciones en ambientes altamente reverberantes. Ante la duda realizar mediciones con duración C, para considerar supuestas reverberancias (10 dB por debajo del peak)
- IX. La posición del micrófono en la medición de ruido impulsivo, será en la posición del oído más expuesto. Si en proporción, la fuente sonora es más grande que la cabeza de la persona expuesta, se puede ubicar el micrófono a la altura de cualquier oído.
- X. En la exposición a ruido impulsivo, el rango de repetición es otro parámetro a considerar dentro el ámbito de la fatiga auditiva. El rango crítico de repetición está directamente relacionado con la respuesta refleja del sistema auditivo, por lo tanto el rango máximo donde puede producir mayor fatiga auditiva, está dentro del orden de 1 impulso por segundo. Cuando el rango de los impulsos sea mayor a este valor se debe considerar y medir como ruido continuo.
- XI. De acuerdo a las mediciones realizadas en el polígono de tiro, de la industria FAMAE, se puede concluir lo siguiente:
- XI.1. La aplicación del Decreto Supremo N° 745 de 1993 del Ministerio de Salud, no es aplicable en esas condiciones, ya que el decreto considera la exposición en función del nivel de presión sonora y rango de repetición.
 - XI.2. El Decreto Supremo N° 594 del 2000 del Ministerio de Salud, es aplicable a la situación de exposición a ruido de armamento, ya que el decreto indica que solo basta evaluar un solo impulso para estimar el límite de tiempo de exposición al ruido.
 - XI.3. Por características arquitectónicas propias del polígono de FAMAE, no se pudo ubicar el micrófono en el oído que supuestamente se encuentra más expuesto el operario

del armamento. Pero esta situación se vuelve despreciable, ya que el operador del armamento, realizó los disparos ubicando el armamento a la altura de la cintura. Se debe considerar la posición del micrófono en el oído de mayor exposición en una situación a campo libre, donde el operador realiza el disparo en forma correcta ubicando el armamento en su hombro. Para el caso del disparador derecho, se ubica el micrófono a la altura del oído izquierdo.

XI.4. De acuerdo a los datos obtenidos en las mediciones, cualquier individuo que se ubique sin protección auditiva, al menos estará en condiciones de desarrollar un cambio temporal de umbral de la audición, debido a la exposición a ruido de armamento.

8. AGRADECIMIENTOS

A mi familia y futura esposa, por su paciencia e incondicional apoyo y por confiar en mi en todo momento.

Al Ingeniero Acústico Christian Gerard, por su apoyo y participación incondicional con su instrumental de medición Larson Davis, en el momento en que se realizaron mediciones en el polígono de prueba de tiro de la industria de construcción de armamento FAMAE. Además agradecer a todo el personal de FAMAE que confió y ayudó a realizar las mediciones dentro del polígono de tiro.

Al Ingeniero Acústico, Cristian Bustos, por su constante preocupación y oportunos consejos.

A mi profesor patrocinante, quien fue un excelente guía en el desarrollo de este trabajo.

A todas mis amistades que siempre confiaron en mi.

Y especialmente a mi madre y a Cristian R..

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ewald E. Selkurt, Ph. D., **Physiology**, 5ª edición, Little Brown Company, USA, 1984.
- [2] Ganong, Williams F.: **Review of Medical Physiology**, 7ª Edición, LANGE Medical Publications, California, USA, 1975.
- [3] Ganong, Williams F.: **Manual de Fisiología Médica**, Traducido por Dr. Guillermo Anguiano L. (Universidad Autónoma de México), 4ª Edición, El Manual Moderno, México, 1978.
- [4] North Atlantic Treaty Organization, Research and Technology Organization, **Damage Risk from Impulse Noise**, September, 2000.
- [5] Kryter K. D., **The Handbook of Hearing and the Effects of Noise**, 1ª edición, Academic Press, San Diego, California, USA, 1994.
- [6] Giménez J., **Mediciones y Evaluaciones Acústicas**, Haedo, Buenos Aires, Argentina, 1997.
- [7] Smith B. J., Peters R. J., Owen S.; **Acoustics and Noise Control**, 2ª edición, Addison Wesley Longman Limited, London, United Kingdom, 1996.
- [8] Beranek L., **Noise and Vibration Control**, Mc Graw-Hill Book Company, USA, 1971.
- [9] National Institute for Occupational Safety and Health, **Criteria for a Recommended Standard, Occupational Noise Exposure**, Ohio, USA, June 1998.
- [10] Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, EPA, Oficina de Control y Abatimiento de Ruido, **Información de Niveles de Ruido Ambiental, Requisito para**

- Proteger el Bienestar y Salud Pública con un Adecuado Margen de Seguridad**, Marzo 1974.
- [11] ISO 10843, **Acoustics - Methods for the Description and Physical Measurement of Single Impulses or Series of Impulses**, Suiza, 1997.
- [12] UNE 74-024-92, **Guía para la Elaboración sobre la Medida del Ruido Aéreo y la Evaluación de sus Efectos sobre el Hombre**, España, 1992.
- [13] British Standards, BS 5330, **Método de Prueba para la Estimación de Riesgo de Desventaja Auditiva debido a Exposición a Ruido**, Reino Unido, 1999.
- [14] Dunn D. E., Davis R. R., Merry C. J., Franks J. R.; **Hearing Loss in the Chinchilla from Impact and Continuous Noise Exposure**, Journal of the Acoustical Society of America, Vol 90, N° 4, Octubre 1991.
- [15] Johnson D. L., Patterson J. H. Jr., **Protection of Hearing Against High-Intensity Impulse Noise**, Journal of the Acoustical Society of America, Vol 99, N° 1, Enero 1996.
- [16] Decreto Supremo N° 745 del Ministerio de Salud de Chile, **Aprueba Reglamento Sobre las Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo**, 1993.
- [17] Decreto Supremo N° 594 del Ministerio de Salud de Chile, **Aprueba Reglamento Sobre las Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo**, 2000.
- [18] Ministerio de Salud de Chile, **Protocolo de Control y Seguimiento de los Trabajadores Expuestos a Ruido y/o con Sordera Profesional**, Santiago de Chile, 1995.
- [19] Larson Davis Laboratories, **2900 User Manual**, Larson Davis Incorporated, Utah, USA, 1993.