



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

FACULTAD DE MEDICINA  
SECRETARIA DE SALUD  
INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN

ESPECIALIDAD EN:  
COMUNICACIÓN, AUDIOLOGÍA Y FONIATRÍA

***“DETECCIÓN DE DAÑO COCLEAR A TRAVÉS DE  
EMISIONES OTOACUSTICAS TRANSIENTES Y POR  
PRODUCTOS DE DISTORSIÓN EN PERSONAL DE  
INFANTERÍA DE MARINA DE LA ARMADA DE MEXICO  
EXPUESTOS A ARMAS DE FUEGO”***

**T E S I S**

PARA OBTENER EL DIPLOMA DE  
MÉDICO ESPECIALISTA EN:  
**COMUNICACIÓN, AUDIOLOGÍA Y FONIATRÍA**

P R E S E N T A :  
**DRA. LUCILA VAZQUEZ RAMIREZ**

PROFESOR TITULAR:  
DRA. XOCHQUETZAL HERNÁNDEZ LÓPEZ

ASESORES:  
DRA. NIEVES DEL ROSARIO OCAÑA PLANTE  
D. en C. M.V.Z EMILIO ARCH TIRADO



MÉXICO D.F.

FEBRERO 2012



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

---

**DRA. MATILDE L. ENRÍQUEZ SANDOVAL**  
DIRECTORA DE ENSEÑANZA

---

**DRA. XOCHIQUETZAL HERNÁNDEZ LÓPEZ**  
SUBDIRECTORA DE POSTGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA

---

**DR. LUIS GÓMEZ VELÁZQUEZ**  
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ENSEÑANZA MÉDICA

---

**DRA. XOCHIQETZAL HERNÁNDEZ LÓPEZ**  
PROFESOR TITULAR

---

**DRA. NIEVES DEL ROSARIO OCAÑA PLANTE**  
ASESORA CLÍNICA

---

**D. en C. M.V.Z. EMILIO ARCH TIRADO**  
ASESOR METODOLÓGICO

## **AGRADECIMIENTOS**

### **Gracias .....**

A Dios por permitirme estar viva y disfrutar las cosas maravillosas que en ella pasan.

A mí mamy por ser la mejor mujer del mundo, ser mi gran apoyo y un gran ejemplo.

A mí papy por ser un gran hombre, que con su ejemplo de vida me ha hecho ser una mujer ejemplar.

A mis hermanos por ser los mejores amigos del mundo, y contar con ellos en todo momento.

A mis amigas por contar con su apoyo incondicional.

A la Dra. Ocaña por su paciencia y por ser una gran maestra.

# INDICE

INTRODUCCION.....	1
I. MARCO TEORICO.....	4
II. METODOLOGÍA.....	44
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	44
JUSTIFICACION.....	45
HIPÓTESIS.....	46
OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	47
MATERIAL Y METODOS.....	48
DISEÑO DEL ESTUDIO:.....	48
POBLACION.....	48
DEFINICIONES OPERATIVAS.....	48
CRITERIOS DE INCLUSIÓN.....	51
CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.....	51
CRITERIOS DE ELIMINACION.....	51
PROCEDIMIENTO.....	52
CONSIDERACIONES ÉTICAS.....	55
III. RESULTADOS.....	56
IV. DISCUSIÓN.....	68
V. CONCLUSIONES.....	73
VI. ANEXOS.....	74
VII. BIBLIOGRAFIA.....	77

## **INTRODUCCION**

### **Antecedentes**

El estudio de las denominadas enfermedades ocupacionales, y entre ellas la hipoacusia inducida por ruido, adquiere en la actualidad una importancia relevante dado en primer lugar, por el aumento de su incidencia y costo económico. (4)

La hipoacusia inducida por ruido (HIR) es un problema de salud que se incrementa, conjuntamente con el avance de la civilización. La exposición a ruidos de alta intensidad, origina trastornos como la incapacidad para la comunicación personal, reduce la calidad de vida del ser humano y su socialización, fenómeno este conocido como socioacusia. Entre los posibles factores causales de hipoacusia en el medio laboral se deben considerar dos: la exposición a niveles altos de ruido ambiental y a diferentes productos tóxicos (Ej. anhídrido carbónico, arsénico, tolueno etcétera).

El ruido es uno de los más comunes riesgos para la salud de oficiales, soldados y civiles que laboran en ambientes militares, por lo que reviste una importancia vital el estudio y prevención de los daños asociados con este.

La referencia más antigua sobre el efecto del ruido en la audición, es una observación registrada en el siglo I de n.e. por *Plinio* el viejo en su "Historia natural", cuando menciona que la gente que vivía cerca de las cataratas del Nilo "quedaba sorda". A finales del siglo XIX, con el advenimiento de la máquina de vapor y la iniciación de la era industrial, aparece el ruido como un importante problema de salud pública. En esta etapa comienza a documentarse la sordera de los trabajadores expuestos, como los forjadores y los soldadores. *Fosbroke*, en 1831, mencionó la sordera de los herreros y *Wittmarck* hizo lo propio en 1907, al mostrar el efecto histológico del ruido en el oído; en 1927, *McKelvie* y *Legge* informan acerca de la sordera de los algodonereros; en 1939, *Lars* describe la sordera de los trabajadores en astilleros

y, en 1946, *Krisstensen* se refiere a la sordera de los aviadores y de los tripulantes de submarinos.

La automatización y la mecanización han revolucionado los sistemas masivos de producción que emergieron de la revolución industrial. Desde 1980, este periodo se ha denominado la “revolución posindustrial”. Este nuevo sistema se caracteriza por el uso de equipo moderno, plaguicidas y otras sustancias químicas que conducen, por un lado, a una mayor productividad y por el otro, a problemas de salud y contaminación ambiental.(4)

Pero de toda la sociedad industrializada, es el ejército donde el personal se ve sometido a los más altos niveles de ruido. Por un lado los motores y la maquinaria pesada de talleres y vehículos y por otro lado, las armas de fuego, cuyas detonaciones superan en intensidad a todos los ruidos industriales. (10).

El estudio de la función coclear por medio de las Emisiones Otoacústicas permite evidenciar daños finos y tempranos de la cóclea no observables con audiometría convencional, siendo de gran utilidad en la detección precoz y prevención de daño auditivo ocasionado por la acción del ruido ocupacional.

El ruido es una variación de presión en un medio elástico capaz de estimular el órgano de la audición, cuyo efecto más común es la molestia. La exposición prolongada a altos niveles de ruido, principalmente ocupacional, origina una sordera temporal o permanente que daña en un principio específicamente, las Células Ciliadas Externas (CCE) de la cóclea, produciendo dificultad para escuchar o comprender el lenguaje hablado en frases, así como también para oír sonidos o ruidos en condiciones de vida y de trabajo habituales.

La evaluación del daño auditivo causado por ruido o hipoacusia sensorineural (HSN) por exposición a ruido o sordera ocupacional, se realiza con una audiometría tonal clínica en la que se encuentra una elevación del umbral de audición de las frecuencias agudas de variada severidad, asociada a diversos factores.

En la actualidad, es posible verificar la condición del órgano auditivo a través de la energía acústica producida por las CCE de la cóclea, y registrada en el

Conducto Auditivo Externo (CAE), fenómeno conocido como Emisiones Otoacústicas (EOA), cuya presencia se relaciona con la audición normal, reflejando un buen funcionamiento de los mecanismos cocleares. En el caso de HSN por exposición a ruido las EOA, están alteradas y serán concordantes con la elevación del umbral que se produce en el audiograma tonal.

## I. MARCO TEORICO

La hipoacusia inducida por ruido es la segunda causa más común de hipoacusia neurosensorial, después de la presbiacusia. (1)(2)(3).

Se estima que un tercio de la población mundial, y el 75 % de los habitantes de ciudades industrializadas padecen algún grado de sordera o pérdida auditiva causada por exposición a sonidos de alta intensidad. La Organización Panamericana de Salud (OPS) refiere una prevalencia promedio de hipoacusia del 17 % para América Latina, en trabajadores con jornadas de 8 horas diarias, durante 5 días a la semana con una exposición que varía entre 10 a 15 años.(4)

Aproximadamente 600 millones de personas en todo el mundo están expuestos a los peligros del ruido ocupacional. (5) En los Estados Unidos de América, la pérdida auditiva inducida por exposición al ruido de origen industrial es una de las enfermedades ocupacionales más frecuentes. (4)

Se estima que 30 a 40 millones de trabajadores estadounidenses están en riesgo de pérdida auditiva debido a la exposición al ruido en el trabajo; 28% en la Unión Europea (EASHW, 2000). Otros autores estiman que alrededor de 35 millones de personas en Europa están expuestas a niveles de ruidos perjudiciales (4). Existe una carencia de datos confiables en el mundo en vías de desarrollo; pero han sido reportados altos niveles en países de Sudamérica, África y Asia. (6)

Los militares tienen una de las ocupaciones en el mundo con mayor exposición a ruidos peligrosos, y la pérdida de la audición en el servicio militar sigue siendo un problema grave y costoso a pesar de los programas de conservación de la audición haciendo hincapié en los dispositivos personales de protección auditiva (HPDS) (Bohner et al., 2002 y Wolgemuth et al. 1995). (5)

El daño auditivo del trauma acústico representa hasta el 47% de todos los heridos en las evacuaciones de acción de la Operación Libertad Iraquí y la Operación Libertad Duradera y es la 4ª principal razón para la remisión médica de los combatientes que regresan del despliegue. Estas lesiones resultan en costosos gastos por discapacidad que van en aumento cada año (Köpke,

2005). Sin embargo, una variedad de otras ocupaciones también se asocian con la sobreexposición acústica significativa, incluyendo la fabricación, construcción, transporte, minería, entre otros. (5)

## **FISIOPATOLOGIA**

### **CARACTERISTICAS DEL RUIDO DE LAS ARMAS DE FUEGO**

En el estudio de los mecanismos y de los factores asociados que predisponen a pérdida auditiva como resultado de la exposición excesiva al ruido, hay que distinguir:

- a) Características del ruido traumatizante
  
- b) Características de los individuos expuestos (10,14)

El poder lesional de un ruido está influido por los siguientes parámetros:

- Intensidad (nivel de presión sonora [SPL])
- Duración
- Espectro frecuencial
- Naturaleza o tipo de ruido
- Pausas de reposo

### **NATURALEZA DEL RUIDO**

Desde el punto de vista de la física, el sonido es un fenómeno vibratorio que se propaga en el aire a una velocidad aproximada de 330 metros por segundo.

Hablamos de ruido cuando el fenómeno acústico añade una sensación desagradable en el individuo que la percibe.

Como ruido se define todo sonido indeseable y molesto al oído humano, otra definición desde el punto de vista psicoacústico es un sonido complejo aperiódico, cuya forma de onda no se repite, varía sin cesar y en la mayoría de los casos el contenido en frecuencia varía al igual con el tiempo.

Para la Organización Mundial de la Salud y la Organización Internacional del Trabajo definen al ruido como todo sonido indeseable. (15)

## CLASIFICACION DEL RUIDO

Dentro de la clasificación del ruido, conforme a lo establecido en la norma oficial mexicana NOM-AA-40-1976, tenemos como lo más importante en el ámbito industrial lo siguiente: (15)

- **Ruido estable:** el cual puede ser sostenido, intermitente y pulsátil
- **Ruido inestable:** el cual puede ser fluctuante o impulsivo.

El ruido estable es aquel que se registra con una variación de su nivel de presión acústica no superior a  $\pm 2$  decibeles (dB). El ruido sostenido es un ruido estable no modificado. El ruido intermitente es aquel ruido estable recurrente, cuyo nivel máximo se alcanza de manera súbita y después de sostenerse durante 1 segundo o más, desciende también súbitamente, seguido por una pausa (15), es otra palabras es ruido prolongado compuesto de fases sonoras de más de 1 segundo de duración, entre las que se intercalan pausas de silencio de duración variable. (10) El ruido pulsátil es aquel ruido recurrente estable, cuyo nivel máximo se alcanza de manera súbita y después de sostenerse durante menos de 1 segundo, también desciende súbitamente seguido por una pausa.

El ruido inestable es aquel que se registra con una variación de su nivel de presión acústica superior a + 2 dB. El ruido fluctuante es aquel ruido inestable que se registra durante un periodo mayor o igual a 1 segundo. El ruido impulsivo es aquel ruido inestable que se registra durante un periodo menor de 1 segundo; (15) otros autores lo definen como un ruido de intensidad elevada pero de duración siempre inferior a 1 segundo y con un intervalo de silencio entre dos ruidos superior a 0,2 segundos. En otras palabras, el ruido impulsivo no es una propagación regular de movimiento ondulatorio, sino una secuencia

irregular de cambios de presión con un pico rápido seguido de un descenso lento hasta llegar a un nivel de presión subambiental.

Los ruidos impulsivos corresponden a las detonaciones de las armas de fuego, que engendran trauma acústico agudo y son los que presentan mayor poder lesional. (10)

La exposición súbita y aguda al ruido de alta intensidad tiene efectos diferentes ante la exposición prolongada y crónica.

Dentro de los sonidos inestables se encuentran los sonidos transitorios y los sonidos por transición. Los sonidos transitorios son producidos por impulsos o impactos, se trata de sonidos que se caracterizan por un incremento repentino de la presión sonora con descenso también abrupto de la misma, cuya duración no excede de 0.5 segundos, por ejemplo: las explosiones, las detonaciones y los impactos de un cuerpo sólido contra otro. Los sonidos por transición caracterizados por un incremento repentino también de la presión sonora, la cual se mantiene con un nivel constante durante un tiempo breve, superior a 0.6 segundos no mayor de algunos segundos, seguido de un descenso también rápido, son generalmente producidos, por escape de aire o vapor, como lo es el ruido de un silbato de locomotora. (15)

Hamernick, de forma experimental, ha comprobado que la interacción de ruido continuo e impulsado provoca lesiones mayores de lo que cabría esperar de la acción de cada uno por separado.

El ruido de impulso crea varios riesgos especiales para el sistema auditivo. En primer lugar, los niveles máximos altos asociados con armas de fuego (140 a 190 dB SPL) puede dañar la cóclea, causando una falla rápida mecánica y lesiones. (14)

## PAUSAS DE REPOSO

Centrándonos en los ruidos impulsivos, la duración entre dos exposiciones es de gran importancia sobre la capacidad de recuperación coclear.

- a) En caso de **intervalo muy corto** entre dos detonaciones, (menos de 100 ms) como por ejemplo un ejercicio de tiro con ametralladora en ráfaga con una frecuencia de disparo de 2000 tiros/ minuto, en las primeras detonaciones, el reflejo estapedial no ha tenido tiempo de efectuar su papel protector, hasta que transcurre su periodo de latencia, que varía desde 10 a 200 ms, por lo que su energía incidiría sobre una cóclea desprotegida que además iría acumulando energía remanente que la cóclea no tendría tiempo suficiente de disipar.

Una vez que finaliza el periodo de latencia, se establece el reflejo estapedial, cuya relajación se produciría aproximadamente después de 250 ms desde el final del ruido, pero como la frecuencia de disparo es de un tiro cada 30 ms, el reflejo estapedial aún seguiría activado en el siguiente tiro. Una vez que se establece, este reflejo protegería a la cóclea de todos los demás disparos siempre y cuando se mantenga el tiro en ráfaga.

- b) En caso de **intervalo corto**, pero superior a 600 ms, como son los ejercicios tiro a tiro, todas las detonaciones encuentran la cóclea desprotegida, porque transcurrido ese tiempo, el reflejo estapedial ya está completamente relajado. Por otro lado, es un intervalo suficientemente largo para permitir la disipación de energía remanente dentro de la cóclea.

El efecto beneficioso de las interrupciones frecuentes ha sido demostrado por WARD, que ha encontrado una reducción en la producción de lesiones cocleares permanentes.

- c) En caso de un **intervalo largo** (horas o días), permite la recuperación completa o casi completa de los cambios transitorios de umbral y una recuperación parcial de los permanentes. Es importante que los ejercicios de tiro se hagan con un intervalo de al menos 24 horas. Sin embargo, Fukushima encontró que después de someter a un animal de experimentación a trauma acústico binaural, si uno de los oídos era sometido a silencio durante el periodo de recuperación, presentaba mayores lesiones que el contralateral. Esto sugiere que la activación mecánica del oído interno inhibe los procesos degenerativos a largo plazo o bien influye en la reparación de las células ciliadas. (10)

## **INTENSIDAD**

La intensidad de una onda sonora viene determinada por el incremento de presión. En las detonaciones se trata de un incremento de presión muy importante y con grandes variaciones: un ruido de 160 dB corresponde a una presión sonora de pico de 0,01 Bar, mientras que un ruido de 200 dB son 1,9 Bar. Se comprueba que la presión sonora a la que el oído se ve sometido, puede variar con un valor 200, lo que explica el carácter más agresivo de las armas con detonaciones más intensas.

En la Tabla 1 pueden verse las intensidades de las detonaciones de varios tipos de armas y el nivel de ruido de algunas máquinas, expresado en dBA (decibelios de presión sonora de pico), medidos por los siguientes autores: (10)

1. Aberdeen proving group
2. Salmivalli
3. Antonen
4. Preventive Medicine Division
5. Buffe
6. Yarrington
7. Pilgramm

**TABLA 1. INTENSIDAD SONORA DE DIVERSAS ARMAS**

TIPO DE ARMAS	INTENSIDAD SEGUN LOS AUTORES						
	1	2	3	4	5	6	7
<b>ARMAS INDIVIDUALES</b>							
Fusil de asalto 7,62	159	160	156		160	160	156
Fusil de asalto 5,56	156			156			
Granada de mano a 7,5 mts	171						
Subfusil 5,56	160						
Ametralladora M60 7,72	155			157			
Mortero 81 mm.	161				200		
Lanzagranadas		163				163	
<b>ARMAS DE ARTILLERIA</b>							
Cañón 155 mm	185						
Cañón 105 mm	189			171		190	
Cañón de carro 105 mm a 4 mts	179				185		
Cañón carro M48A 90 mm a 4 mts	181				180		
Ametralladora antiaérea		165					
<b>MAQUINARIA Y VEHICULOS</b>							
Helicóptero CH47 Chinook	110						
Helicóptero OH13 Apache	105						
Torno	100						
Prensa offset	85						
Sierra de cinta	100						
Sierra de cadena	110						
Sierra circular	100						
Excavadora	95						
Camión de gran tonelaje	90						
Carro de combate	105						

Información sobre las fuentes de ruido y los niveles de ruido en el ambiente militar es abundante y detallada, pero no completa y no fácil de resumir. Los niveles de ruido varían en función de la distancia de la fuente de sonido y las condiciones en que se desarrolla el sonido generado.

La Tabla 2 proporciona otros ejemplos de algunas de las mediciones realizadas desde la década de 1950 los niveles de sonido se encuentra en medio de

vehículos terrestres y aeronaves y los niveles máximos de presión sonora generados por ciertas armas. (14)

**TABLA 2.**

Weapons (Impulse Noise)	Model	Condition	Location	Sound Level dBP
9mm pistol	M9		Shooter	157
5.56mm rifle	M16A2		Shooter	157
5.56mm squad automatic weapon fired from HMMWV	M249		Gunner	160
7.62mm machine gun	M60	Fired from HMMWV	Gunner	155
0.50 caliber machine gun	M2	Fired from HMMWV	Gunner	153
Machine gun	MK 19, Mod 3	Fired from HMMWV	Gunner	145
Grenade	M26		At 50 ft	164
MAAWS recoilless rifle	M3		Gunner	190
Light antitank weapon	M72A3		Gunner	182
Javelin antitank missile		Open position	Gunner	160
		Enclosed position	Gunner	166
		Fighting position	Gunner	172
105mm towed howitzer	M1 19	At charge 8	Gunner	183
155mm towed howitzer	M198	Firing M203 propellant	Gunner	178

NOTES: In flight, helicopter crews wear helmets with integral hearing protectors. Passengers must rely on their own hearing protectors (e.g., earplugs) or ones supplied by air operations. HMMWV, high-mobility multipurpose wheeled vehicle; MAAWS, multi-role anti-armor anti-personnel weapon system.

SOURCE: Adapted from U.S. Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine (2004d).

Fuente: Noise and Military Service: Implications for Hearing Loss and Tinnitus/ Committee on Noise-Induced Hearing Loss and Tinnitus Associated with Military Service from World War II to the Present. National Academy of Sciences USA, 2006.

Según el Naval Surface Weapons Center, Dahlgreen, Virginia, el riesgo de sufrir un trauma acústico dependiendo de la intensidad de un ruido impulsivo es (10)

Menos de 115 dB : poco riesgo

de 115 a 130 dB : riesgo moderado

de 130 a 140 dB : riesgo alto

más de 140 dB : umbral de lesiones permanentes en oídos humanos no protegidos.

La relación entre el ruido inducido por la pérdida de audición y la amplitud del pico de un ruido impulsivo o de impacto es complicado. La investigación sistemática de la chinchilla se ha demostrado que en el rango más bajo de exposición al ruido impulsivo (<140 dB SPL) o al ruido de impacto (<115 dB SPL), la chinchilla desarrolla una pérdida de audición que es proporcional a la energía total de la exposición (nivel máximo x número de impulsos).

Sin embargo, por encima de estos niveles de presión de sonido pico, el sistema auditivo está dañado principalmente por los grandes desplazamientos causados por los niveles de pico alto. La línea divisoria entre la "energía" y "máximo nivel" el comportamiento se conoce como "nivel crítico". Cabe señalar que los niveles críticos de alrededor de 140 dB SPL de ruido impulsivo y 115 dB SPL de ruido de impacto son en general aproximaciones de la chinchilla. El nivel crítico real depende de la forma de onda específica del ruido de impulso y el impacto (Henderson y Hamernik, 1986). Basado en comparaciones entre especies de chinchillas a los seres humanos, los niveles críticos para los seres humanos tienden a ser de aproximadamente 10 dB mayores que las observadas en las chinchillas. Sin embargo, debido al alto riesgo de pérdida auditiva de altas frecuencias, los impulsos y la variabilidad de la subsecuente pérdida auditiva inducida por el ruido, se ha adoptado un criterio más conservador para los seres humanos de 140 dB SPL. (14)

Debajo del nivel crítico, la pérdida de audición aumenta con una tasa de aproximadamente 1-3 dB de pérdida de audición de cada dB de aumento en el nivel máximo. Sin embargo, por encima del nivel crítico, la pérdida de audición crece 7.3 dB por cada dB de aumento en el nivel de los impulsos o los ruidos de impacto. Este crecimiento acelerado de pérdida de audición con un aumento en el nivel de presión acústica de pico por encima del nivel crítico es uno de los factores que hacen que el ruido de impulso y el de impacto sean particularmente peligroso (Henderson y Hamernik, 1986). (14)

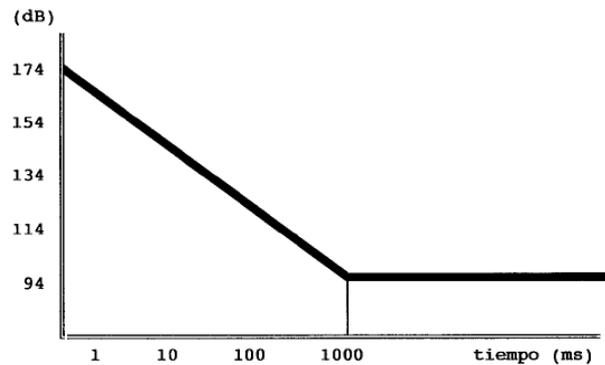
El ruido de impulso y de impacto también presentan un mayor riesgo cuando ocurre con otros ruidos de fondo en estado estacionario (aproximadamente 85-95 dBA). Los estudios experimentales con animales de laboratorio han demostrado que la exposición a combinaciones de impacto relativamente benigno y el ruido de estado estacionario puede conducir a interacciones multiplicativas con pérdida de audición y daño coclear; los efectos de la exposición combinada es mayor que el efecto simple o de ruido continuo (Hamernik et al., 1981). (14)

## DURACION

Un ruido es tanto más agresivo cuanto más energía contiene. En los ruidos continuos, la energía de un sonido es directamente proporcional a su intensidad y a su duración, pero esta ley no rige cuando se trata de un ruido impulsivo, con una duración próxima a 0.

La ley de la Isoenergía para ruidos impulsivos ha sido investigada por LUPKE y por BUFPE, el cual, ha determinado a nivel experimental, la tolerancia coclear a este tipo de ruidos, en función de su intensidad y de su duración. Figura 2. (10)

FIGURA 2 .- CURVA DE TOLERANCIA COCLEAR CONFORME A LA LEY DE ISOENERGIA.



El límite que separa el carácter de agresividad o inocuidad de una detonación está definido por la línea que pasa por los puntos 174 dB de incremento de presión durante 0 ms y 94 dB durante 1000 ms (1 s) separando el plano de coordenadas incremento de presión — tiempo en dos zonas.

Toda detonación cuyo nivel energético esté situado por debajo de la curva trazada en la figura 2, está considerada como no peligrosa.

La Ley de la Isoenergía establece que dos ruidos conteniendo la misma energía tienen el mismo poder lesional coclear. Sin embargo, DANIELSON ha comparado dos ruidos impulsivos de la misma energía pero con distinta intensidad y duración, pues bien, a igual energía, los impulsos de 150 dB causan mayor daño que los de 135 dB. Esto nos lleva a tener en cuenta otro parámetro. (10)

Con respecto a los efectos de la duración de la exposición, cuando la duración se define en términos de horas de exposición continua a ruidos intensos, los umbrales de audición en los seres humanos comienzan a deteriorarse después de unos 1-4 horas de exposición al ruido de intensidad moderada (es decir, ~ 85 dBA) y llegan a un cambio del umbral máximo de 10-18 dB después de 8-12 horas. Con la exposición al ruido más intenso (es decir, 92 a 120 dBA), los umbrales de audición comienzan a deteriorarse a menos de 30 minutos después del comienzo de la exposición en humanos y otros mamíferos.(14)

Con respecto a la recuperación después de tales exposiciones continuas a ruidos, por lo general, los cambios de umbral que son menos de 20 dB se recuperan por completo a las 48 horas después de la finalización de la exposición. Desplazamientos del umbral de 30 dB puede requerir 3-6 días para el componente temporal del cambio del umbral a desaparecer. Con grandes cantidades máximas de cambios (por ejemplo, > 40 dB), la recuperación puede ser completa o incompleta. En los animales, desplazamientos del umbral que requieren de una semana o más para la recuperación se ha demostrado que se asocia con un daño permanente coclear, principalmente la pérdida de células ciliadas externas. Los autores especulan que demora en la recuperación de los umbrales en los seres humanos también significa la aparición de daño coclear. (14)

La naturaleza impulsiva e intermitente de muchas exposiciones al ruido militar (por ejemplo, armas de fuego, lanzamiento de avión y el aterrizaje, el funcionamiento del tanque, de 6 meses a bordo) añade un elemento de incertidumbre a las consideraciones de la exposición y efecto. Por ejemplo, "altos niveles de ruido" durante aproximadamente 3 horas de un período de 14 horas se han descrito como típico de las operaciones de alto ritmo de vuelo en un portaaviones (Yankaskas y Shaw, 1999). La exposición al ruido intermitente puede permitir la recuperación, mejorando así, en cierta medida los efectos peligrosos de exposición al ruido. Sin embargo, el personal militar también puede tener la exposición al ruido que se prolongan en comparación con las de los civiles. En el mar, por ejemplo, los marineros están expuestos al ruido ambiente a bordo de forma continua y pueden encontrar niveles de ruido

potencialmente peligrosos incluso en sus dormitorios, dando a sus sistemas auditivos ninguna oportunidad de recuperación a corto plazo (Yankaskas y Shaw, 1999; Yankaskas, 2001, 2004 ). (14)

## **ESPECTRO FRECUENCIAL**

Una detonación no es un sonido puro con una frecuencia única, sino un conjunto de frecuencias que se propaga en forma de una onda de presión sonora. El análisis frecuencial de esta onda va variando desde el principio del fenómeno hasta su terminación. En el comienzo de una detonación, están presentes todas las frecuencias audibles y una parte de la gama de los ultrasonidos. A medida que transcurre el tiempo van desapareciendo las frecuencias agudas y al final solo persisten las frecuencias medias y graves que son las menos lesivas. Por lo tanto, si tenemos dos detonaciones cuyo contenido energético es idéntico, pero su duración es diferente, la más breve es más rica en frecuencias altas, y la más larga lo es en frecuencias bajas, es decir, que la más breve sería más lesiva. Esto no se ajusta a la ley de isoenergía, según la cual, el contenido energético es proporcional al cuadrado de la presión de cresta multiplicado por la duración ( $P^2 \times t$ ). La explicación de este fenómeno viene dada por la variación en la composición espectral de la detonación, en la cual, las bajas frecuencias ejercen un efecto protector sobre la cóclea. Si el espectro frecuencial del impulso es próximo a 2000 Hz, el poder lesional es máximo. (10)

## **CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES**

Varios factores, algunos inherentes a la persona (endógena) y externos al individuo (exógena), han sido examinados por los investigadores para evaluar su papel en la susceptibilidad de la pérdida de audición inducida por ruido. (14)

El ruido no afecta a todos de la misma manera. Es por lo que se invocan susceptibilidades individuales que hacen a unos más vulnerables que a otros. Henderson, que ha dedicado gran parte de su trabajo al estudio de la sordera

producida por ruido, considera que esta no se ajusta a las predicciones de la ley de la isoenergía, sino que depende de varios factores entre los que incluye la susceptibilidad individual. Entre los factores que pueden estar relacionados con la susceptibilidad al trauma acústico hay que mencionar los siguientes: (10,14)

### ***Factores exógenos***

Como se ha señalado en las revisiones de Humes (1984), Boettcher et al. (1987), y Boettcher et al. (1992), las interacciones de los efectos de la exposición al ruido y diversos medicamentos y agentes químicos han recibido considerable atención. Cuando el ruido, diuréticos o aminoglucósidos (antibióticos comunes, como la gentamicina) se utilizan en combinación por ejemplo, interacciones sinérgicas se producen de tal manera que la pérdida auditiva a partir de la combinación de agentes es mayor que la pérdida de audición de cada agente por separado. (14)

### ***Factores endógenos***

Algunos de los factores tratados en varios trabajos de revisión son la edad (jóvenes y adultos), género, raza y la pérdida auditiva previa, que se explican a continuación:

1. SEXO. Con respecto a las diferencias de género en la susceptibilidad al ruido inducido por la pérdida de audición, los estudios de audiometría de los empleados en las industrias de los servicios ruidosos han demostrado que en las mujeres, hay menor proporción de trauma acústico, aunque estén inmersas en el mismo ambiente. En el caso de los ejércitos, aún son mayoría los que no admiten mujeres y en los que si las admiten, no suelen ir destinadas a unidades de las llamadas de élite, con mayor entrenamiento en el manejo de armas de fuego.

2. EDAD .Aunque son mayoría los autores que consideran que los jóvenes son más susceptibles, aún no está perfectamente establecido el influjo de la edad sobre el trauma acústico.
3. RAZA. Diversos autores sugieren que cuando hay menos melanina (ojos claros) hay mayor susceptibilidad frente al ruido que cuando la melanización es mayor (ojos marrones). El efecto beneficioso de la melanina estaría condicionado por la existencia de células melánicas en la estría vascular y por las propiedades de la melanina como semiconductor y su poder de reducción de enzimas oxidadas. Los estudios comparativos realizados entre individuos de razas blanca y negra sometidos a los mismos estímulos, muestran que los más pigmentados desarrollan menores cambios de umbral. (10,14)
4. VIBRACIONES. Clínicamente se comprueba que los leñadores que manejan la motosierra o los que emplean el martillo neumático, tienen peor audición que otros grupos de trabajadores sometidos a similares intensidades de ruido. Aunque por si solas no producen lesión acústica, pueden provocar vasoespasmos por estimulación del sistema nervioso simpático que potencien la susceptibilidad.
5. EXISTENCIA PREVIA DE CAMBIO PERMANENTE DE UMBRAL: HUMES tras seis trabajos de exposición a ruido encuentra que se produce mayor pérdida en los individuos con un trauma acústico previo que en los individuos normales. Estos estudios sugieren dos conclusiones:
  - A) Cuando la región en que existe pérdida auditiva previa, coincide con la región afectada por la exposición al ruido, el cambio de umbral es menor en el oído lesionado, pero la pérdida de audición total, es idéntica para oídos normales y traumatizados. Es decir, un individuo con 10 dB de umbral, que cambia a 40 dB, ha sufrido una pérdida de 30 dB. Otro individuo con umbral previo de 30 dB también cambiaría a 40 dB, habiendo sufrido 10 dB de pérdida.

B) La región en la que existe daño, no interacciona con la región en la que se va a producir después. Por ejemplo, si previamente existía una pérdida de 20 dB en la frecuencia 4000 Hz y con la exposición se ha producido una pérdida de 20 dB en la 500 Hz, la pérdida total sería de 20 dB en la 500 Hz y 20 dB en la 4000 Hz. No interaccionan, simplemente se suman.

Por lo tanto, el cambio del umbral relativo de los individuos con enfermedades preexistentes inducida por el ruido, la pérdida de la audición es siempre menor que la observada en personas con audición normal antes de la exposición, pero los umbrales desplazados (en dB HL o dB SPL) suelen ser similares, en función de la combinación particular de los umbrales y las condiciones de exposición en cuestión. (14)

6. SORDERA DE TRANSMISION El fundamento de los dispositivos protectores (tapones, orejeras, cascos) es crear un impedimento a la transmisión del sonido, por lo que cabría pensar que la existencia de una sordera de transmisión unilateral haría más resistentes a esos oídos. (10)

## **FISIOPATOLOGÍA DE LAS LESIONES ACUSTICAS**

Este estudio abarca dos aspectos:

1. Por un lado, la evaluación de la cantidad de energía sonora que es realmente inyectada en la cóclea, lo que nos lleva al estudio de las funciones de transferencia del oído externo y medio.
2. Por otra parte, el modo de reacción de la cóclea ante la energía que le llega: los mecanismos de lesión cóclear.

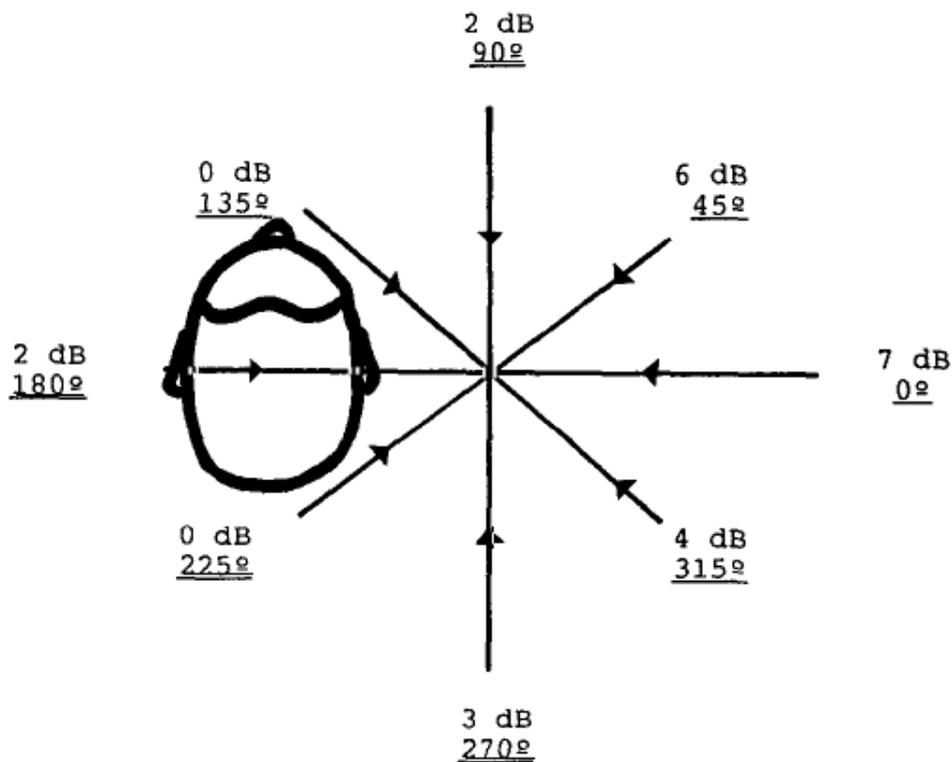
## FUNCION DE TRANSFERENCIA DEL OIDO EXTERNO Y MEDIO

El oído externo y medio no se limitan a la transmisión pasiva del sonido, sino que pueden influir sobre este de diversas formas:

- Angulo de incidencia entre la dirección de la onda y el eje del conducto auditivo externo.

En los ángulos en los que las ondas sonoras encuentran una más favorable incidencia para entrar en el conducto auditivo externo (CAE), se obtienen amplificaciones de intensidad, que, concretamente en la frecuencia 4000 Hz alcanzan los 6 y 7 dB. (Figura 3).

**FIGURA 3. ANGULOS DE INCIDENCIA**



En la posición normal de disparo de los tiradores diestros, el oído izquierdo se encuentra en ángulo de incidencia más favorable que el oído derecho, que queda parcialmente protegido por la sombra acústica de la cabeza. (Figura 3).

Por este motivo, habitualmente los tiradores tienen peor audición en el oído izquierdo.

Acton recogió la intensidad a nivel de CAEs de un mismo tirador utilizando un rifle de calibre 22, encontrando 130 dB en CAE derecho y 138 dB en CAE izquierdo. Este hecho también puede dar lugar a que en los ejercicios de tiro en grupo, el arma del vecino pueda resultar más nociva que la propia.

El hecho de que constantemente aparezca el oído izquierdo más afectado que el derecho, ha llevado a algunos autores a investigar sobre la hipotética existencia de una diferencia de susceptibilidad. Los resultados experimentales muestran que efectivamente, en el oído izquierdo las lesiones son mayores que en el derecho.

- La resonancia de la cavidad meatal incrementa de 5 a 10 dB la intensidad de la presión de pico de un ruido impulsivo y además, su espectro frecuencial se desvía hacia frecuencias más altas.
  
- Función de transferencia máxima de energía: En un trabajo experimental se comprueba que un disparo provoca una oscilación del tímpano que es máxima entre los 3400 y los 4000 Hz, lo cual ayudaría a explicar que las lesiones aparezcan en esas frecuencias y en las superiores.

Ante la exposición a un ruido plurifrecuencial, el oído externo y medio muestran que la zona de máxima transferencia de energía sonora a la cóclea se sitúa alrededor de los 4000 Hz.

- Papel protector del reflejo estapedial. Como se ha visto que en el caso de los ruidos impulsivos, el reflejo estapedial tiene muy pocas posibilidades de ejercer protección alguna debido a que su latencia es más larga que la duración de la detonación. No obstante, se ha visto que en los casos de parálisis facial unilateral, con ausencia de reflejo, aparece lesión acústica en el oído homolateral con mayor frecuencia que en el lado sano. También se ha visto que el reflejo estapedial protege con más eficacia hasta la frecuencia 2000 Hz. Es una hipótesis más para explicar que el trauma acústico aparezca en las frecuencias superiores.

## TRAUMA ACÚSTICO

El trauma acústico, es la pérdida brusca de la audición causada por una exposición a ruido de alta intensidad, en forma aguda (única exposición a más de 140 dB) o crónica (hipoacusia profesional por exposición mantenida a intensidades superiores 80 dB) (24, 25). También se considera trauma acústico a toda lesión producida por impactos sonoros persistentes, como los de la industria, estampidos, ruidos muy fuertes, explosiones y ciertos traumatismos. Por tanto podemos decir, que el trauma acústico está en relación directa con la duración e intensidad del ruido, generalmente se necesita más de 90 dB para producir daño. (11). Este se puede dividir en **agudo** y **crónico**.

El trauma acústico agudo, corresponde a una alteración de la audición que ocurre como resultado de la exposición a ruidos de tipo impulsivo, único y de alta intensidad, la pérdida puede ser uni o bilateral, de tipo sensorineural o mixta, pero es posible su recuperación (15, 24).

## DAÑO AUDITIVO INDUCIDO POR RUIDO

La hipoacusia inducida por ruido (HIR), trauma acústico **crónico** o daño auditivo inducido por ruido (DAIR), se define como la disminución de la capacidad auditiva de uno o ambos oídos, parcial o total, permanente o acumulativa, de tipo sensorineural que se origina gradualmente, durante y como resultado de la exposición a niveles perjudiciales de ruido en ambiente laboral, de tipo continuo o intermitente de intensidad relativamente alta (más de 80 dB SPL) durante un periodo grande de tiempo, debiendo diferenciarse del trauma acústico, el cual es considerado más como un accidente, más que una verdadera enfermedad profesional. Se caracteriza por ser de comienzo insidioso, curso progresivo y de presentación bilateral y simétrica. También se dice que corresponde a la pérdida auditiva continua y permanente que se desarrolla en forma gradual a lo largo de los años; como consecuencia a exposición a ruido ambiental o laboral, sobre todo por exposición prolongada a

un ruido intenso. En general la pérdida es sensorineural, bilateral, simétrica y recuperable solo en su inicio. (24, 26)

La exposición continua y crónica a ruidos de alta intensidad mayores de 80 dB produce daño irreversible a las células pilosas externas del órgano espiral (de Corti). Otras estructuras afectadas son las células de soporte localizadas medial y lateralmente al órgano espiral. Posterior a exposiciones crónicas, las neuronas aferentes del nervio coclear y las células del ganglio coclear también pueden verse dañadas. Adicionalmente, se pueden observar cambios en el metabolismo y en la actividad neuronal en la parte central de la vía auditiva. (1)(7)(3)

Existen diversas teorías sobre el origen del daño auditivo asociado a exposición a ruido entre ellas:

1. Teoría del microtrauma: Los picos del nivel de presión sonora de un ruido constante, conducen a la pérdida progresiva de células, con la consecuente eliminación de neuroepitelio en proporciones crecientes.(4)
2. Teoría bioquímica. Hipoacusia por las alteraciones bioquímicas que el ruido desencadena, y conlleva a un agotamiento de metabolitos y lisis celular. Estos cambios bioquímicos son: disminución de la presión de O<sub>2</sub> en el conducto coclear; disminución del ácido nucleico de las células; disminución del glucógeno, ATP; aumento de elementos oxígeno reactivos (ROS), como los superóxidos, peróxidos, y radicales de hidroxilo, que favorecen el estrés oxidativo inducido por ruido; disminución de los niveles de enzimas que participan en el intercambio iónico activo (Na(+),K(+)-ATPasa y Ca(2+)-ATPasa).(4)
3. Teoría de la conducción del calcio intracelular. el ruido es capaz de despolarizar neuronas en ausencia de cualquier otro estímulo, las distorsiones que sufre la onda de propagación del calcio intracelular en las neuronas son debidas a cambios en los canales del calcio. Los niveles bajos de calcio en las células ciliadas internas, parece intervenir en la prevención del daño auditivo inducido por ruido (DAIR).(4)
4. Mecanismo mediado por macrotrauma. La onda expansiva producida por un ruido discontinuo intenso es transmitida a través del aire

generando una fuerza capaz de destruir estructuras como el tímpano y la cadena de huesecillos.(4)

Existen mecanismos protectores del daño auditivo causado por ruido:

1. Mecanismo neural. El sistema eferente coclear está involucrado en los mecanismos que subyacen en el "efecto de endurecimiento" a las altas frecuencias: una reducción progresiva del umbral ante exposiciones repetidas a un ruido. (4)
2. Mecanismo antioxidativo: La ausencia de antioxidantes superóxido dismutasas (CuZn-SOD) y glutatión potencian el daño inducido por ruido. Estas ejercen un mecanismo protector sobre la cóclea.(4)
3. Mecanismo de acondicionamiento del sonido: reducción de los efectos deletéreos del trauma acústico por acondicionamiento del sonido, un proceso de exposición a niveles bajos de ruido no dañino, para crear efectos protectores a largo plazo en detrimento de las formas perjudiciales subsecuentes del trauma acústico. (4)

La exposición prolongada a altos niveles de ruido, causa sordera temporal o permanente que daña en un principio las células pilosas externas de la cóclea produciendo dificultad para escuchar o comprender el lenguaje hablado. (8)

Desde el punto de vista fisiológico la pérdida auditiva inducida por ruido es neurosensorial y las células pilosas externas son las primeras en lesionarse. Las células pilosas externas en áreas de la membrana basal, son estimuladas por sonidos de alta intensidad causando alteraciones reversibles en un inicio, alteración que se conoce como cambio temporal del umbral (CTU), una exposición constante causa daño permanente y modificación permanente del umbral. (9)

La hipoacusia inducida por ruido o trauma acústico crónico es un déficit auditivo que inicia en las frecuencias altas (de 3 a 6 KHz). El daño producido por el ruido comienza a afectar en primera instancia la espira basal de la cóclea (frecuencias agudas) y se desarrolla gradualmente como resultado de exposición crónica a niveles excesivos de sonido. La pérdida es típicamente simétrica, sin embargo, pérdidas secundarias a una fuente muy localizada

hacia alguno de los oídos pueden ser asimétricas. El tipo de pérdida es neurosensorial. (1)(2)(7)

Una explicación sería que la membrana basilar sufre un impacto en un sitio determinado según la frecuencia, debido a ondas de presión que atraviesan la rampa vestibular, llegan al helicotrema y descienden por la rampa timpánica descomprimiéndose por la ventana redonda, siempre se establece la caída auditiva comenzando por el tono 4.000 Hz, ya que se cree que las presiones deben cambiar la dirección del desplazamiento siempre en el mismo punto, lesionando en todos los casos la misma frecuencia. Por orden anatómico se ha comprobado que la movilidad de la membrana basal corresponde a los 4.000 ciclos, en primer lugar y a los 3.000 y 6.000, en segundo término; luego en estas frecuencias es más fácil sufrir lesiones.

Por otra parte en este sector afluyen las arteriolas que riegan la membrana basal, existiendo en la zona menor afluencia de sangre. (11).

Los factores etiológicos relacionados con la hipoacusia por trauma acústico crónico son la magnitud, frecuencia, tipo de sonido, susceptibilidad individual y tiempo de exposición. El tiempo de exposición (en horas expuesto al ruido) y duración de la exposición en años, esta directamente relacionado con la extensión del daño auditivo. Es decir, a mayor tiempo de exposición, mayor profundidad de la sordera. (7)

Por otra lado la Administración de la Salud y Seguridad Ocupacionales (OSHA Occupational Safety and Health Administration) así como el Instituto Nacional para la Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH National Institute for Occupational Safety and Health) han desarrollado niveles de intensidad de los sonidos en combinación con la duración de la exposición, que consideran seguros para la mayoría de la población (Tablas 1 y 2).

Tabla 1. OSHA: Niveles de ruido permitidos. (12)

Nivel de sonido (dB SPL)	Duración (horas al día)
90	8
92	6
95	4
97	3

100	2
102	1 ½
105	1
110	½
115	¼ ó menos

Tabla 2. NIOSH: Combinación de los niveles de exposición y duraciones que los trabajadores no deben alcanzar o exceder. (13)

Nivel de exposición (dB)	Tiempo de duración			Nivel de exposición (dB)	Tiempo de duración		
	Horas	Min.	Seg.		Horas	Min.	Seg.
80	25	24	-	106	-	3	45
81	20	10	-	107	-	2	59
82	16	-	-	108	-	2	22
83	12	42	-	109	-	1	53
84	10	5	-	110	-	1	29
85	8	-	-	111	-	1	11
86	6	21	-	112	-	-	56
87	5	2	-	113	-	-	45
88	4	-	-	114	-	-	35
89	3	10	-	115	-	-	28
90	2	31	-	116	-	-	22
91	2	-	-	117	-	-	18
92	1	35	-	118	-	-	14
93	1	16	-	119	-	-	11
94	1	-	-	120	-	-	9
95	-	47	37	121	-	-	7
96	-	37	48	122	-	-	6
97	-	30	-	123	-	-	4
98	-	23	49	124	-	-	3
99	-	18	59	125	-	-	3
100	-	15	-	126	-	-	2
101	-	11	54	127	-	-	1
102	-	9	27	128	-	-	1
103	-	7	30	129	-	-	1
104	-	5	57	130-140	-	-	<1
105	-	4	43		-	-	-

Tanto la OSHA como el NIOSH sugieren intervención cuando los sonidos alcanzan una intensidad de 85 dB, antes de esta, se cree que las personas estamos a salvo de un daño auditivo significativo. Si observamos la tabla realizada por el NIOSH cada 3 dB que aumenta la intensidad del sonido en exposición disminuye el tiempo de seguridad para escucharlo a la mitad.

Los síntomas del daño auditivo inducido por ruido son: alteraciones de los umbrales auditivos, los pacientes presentan frecuentemente el fenómeno conocido como “reclutamiento”, pudiendo presentar también diploacusia. El acúfeno es uno de los principales síntomas que se refieren, el cual llega a interferir con la vida de los pacientes. Sin embargo existen otros efectos que no se relacionan a la audición como pueden ser taquicardia, extrasistolia, vasoconstricción periférica, fatiga física, trastornos menstruales, meteorismo, tartamudez, inestabilidad emocional, trastornos del sueño, cefalea de predominio occipital, midriasis paralítica. (1)(15)

El riesgo de daño auditivo inducido por ruido dependerá del tipo de ruido, tiempo e intensidades de exposición, de la edad del individuo, de la exposición a agentes ototóxicos y de la susceptibilidad individual como se ha mencionado anteriormente. (16)

## **EFFECTOS DEL RUIDO ENTRE PERSONAL MILITAR**

Muchas fuentes de ruido potencialmente dañinos han existido por mucho tiempo en ambientes militares. Desde la II Guerra Mundial hasta la actualidad algunas de estas fuentes son los sistemas de armas (por ejemplo, pistolas, rifles, piezas de artillería, cohetes), los vehículos de ruedas y cadenas, las aeronaves fija y helicópteros, barcos y dispositivos de comunicación. Los miembros del servicio pueden encontrar estas fuentes de ruido a través de la capacitación, el nivel de operaciones militares y de combate. La exposición a ruidos relacionados con los combates pueden ser impredecibles en el inicio y la duración.

Debido a que un gran número de personas han servido en el ejército desde la Segunda Guerra Mundial, el número total del personal militar en Estados

Unidos que experimentaron pérdida de audición inducida por ruido y el tiempo de su servicio militar terminado es considerable, varias series de estudios han tratado de estudiar este fenómeno pero los datos disponibles no ofrecen una base para una estimación válida. Tampoco es posible estimar la proporción de una población militar que desarrolló pérdida de audición o acufeno durante el servicio militar, la cantidad de pérdida de audición, o el riesgo relativo de ruido inducido por la pérdida de audición o acufeno para un individuo dado, basándose en la rama del servicio militar, especialidad profesional, o la área de servicio.

Con respecto a la pérdida de la audición, la mayoría de los datos disponibles son los umbrales de audición promedio del grupo en estudios de corte transversal. Estos datos indican que el promedio de los umbrales de audición son más graves en los grupos con más años de servicio militar. Sin embargo, estos datos transversales no son una base suficiente para atribuir una mayor pérdida de la audición solamente a una exposición más prolongada a los ruidos, mientras que en el ejército, el tiempo de exposición al ruido y las dosis de ruido recibida (u otros factores que pueden afectar a la pérdida de audición) pueden haber variado entre el personal que entró en el servicio militar en diferentes años, en virtud de factores como el tiempo de los períodos de combate o diferencias en el uso de protección auditiva o el uso recreativo de las armas de fuego.

Los datos transversales pueden utilizarse para identificar asociaciones entre el servicio militar y el ruido inducido por la pérdida de audición, pero no son suficientes para mostrar la relación causal. Por el contrario, los datos arrojados por estudios longitudinales muestran que los umbrales de audición al inicio y el fin del servicio militar pueden servir de base para establecer que la pérdida auditiva se produjo después de la exposición al ruido durante el servicio militar, una orden temporal necesaria para una relación causal y la estimación de riesgos.

## **EL ESTUDIO DEL RUIDO Y LA PÉRDIDA DE AUDICIÓN ENTRE EL PERSONAL MILITAR**

Existen ruidos potencialmente dañinos en el entorno militar, pero la evaluación de sus efectos en la audición del personal militar no es sencilla. Han sido adoptadas fórmulas de predicción como una base para estimar la cantidad de pérdida de audición que es de esperarse en una población expuesta a niveles industriales específicos y duraciones de ruido en el trabajo (por ejemplo, ISO-1999 [ISO, 1990], ANSI S3.44 [ANSI, 1996]), estas se basan en hipótesis de exposición al ruido de hasta 8 horas por día, 5 días a la semana y por períodos de 10 a 40 años. Con frecuencia, las exposiciones al ruido en los escenarios militares no se ajusten a estas condiciones.

Una alternativa sería contar con datos longitudinales obtenidos utilizando las herramientas de medición coherentes para controlar las dosis de ruido y los umbrales de audición para los distintos miembros del servicio militar, o por lo menos los subgrupos definidos en el transcurso de su servicio militar. Otros factores que podrían afectar la audición también tendría que tenerse en cuenta, incluido el ruido de exposición no ocupacional. Estos análisis no se han realizado y que son imposibles con los datos existentes.

En los estudios revisados, dos enfoques principalmente se han utilizado para evaluar el riesgo de la pérdida de auditiva inducido por ruido en el ejército. Estos son:

- 1) Medición de la dosis de ruido y estimación de la pérdida de la audición que se espera de la dosis medida. Por desgracia, los datos sobre la dosis de ruido acumulada recibida por los miembros individuales de servicios no están disponibles.
- 2) La medición de los umbrales de audición de tonos puros en grupos del personal militar. En este último caso, los datos pueden consistir en los umbrales de medición actual en varias frecuencias o el cambio relativo en los umbrales de más de un período de tiempo. El acceso a estos datos es a menudo difícil o poco práctico, y sólo un uso limitado se ha hecho de ellos para los

estudios analíticos. Algunos de los estudios revisados por un comité de expertos de Estados Unidos llamado Committee on Noise-Induced Hearing Loss and Tinnitus Associated with Military Service from World War II; utilizó bases de datos reales de los programas de conservación de la audición, así como otros basados en datos de prueba reunidos específicamente para el estudio o para algún otro propósito. La mayoría de los informes examinados fueron de análisis transversales que no proporcionaron datos para dar una estimación válida.

El énfasis en los datos más recientes refleja, en parte, la evolución de las normas de pruebas audiométricas y equipos entre la Segunda Guerra Mundial y 1970. Los datos recogidos desde la década de 1970 se consideran más fiables y consistentes que los datos anteriores, aunque los cambios desde entonces, como el cambio de audiómetros de grabación propia a los audiómetros basados en microprocesadores, podría afectar la comparabilidad de las mediciones. Las diferencias también pueden existir entre las fuentes de datos en el rango de los valores registrados durante las pruebas audiométricas, con los militares rara vez tiene niveles por debajo de 0 dB HL.

Un primer indicador de la presencia de ruido inducido por la pérdida de audición es el patrón de la pérdida auditiva en las frecuencias altas, que se refirió como la "primera clase de ruido", en el que los umbrales de audición en 3000, 4000 o 6000 Hz son peores que los de las frecuencias más bajas o en 8000 Hz.

En el estudio de la pérdida de audición inducido por ruido en la población militar durante 60 años desde la Segunda Guerra Mundial, existen algunas consideraciones importantes que hay que considerar, como son el momento irregular de los conflictos armados, los cambios en los programas de conservación de la audición, la tecnología de los audiómetros y los tipos de protección para los oídos disponibles. (14)

## **TRAUMA ACÚSTICO EN EL ÁMBITO MILITAR**

Quizá, la presencia de trauma acústico en el personal militar, sea la más clara relación de causa-efecto entre la exposición al ruido y la pérdida de la audición. Incluso en esos casos, el cambio en los umbrales de audición como resultado de ese evento no se puede determinar de manera concluyente, sin tener información sobre los umbrales antes de la exposición. El comité antes mencionado, no encontró ninguna información sistemática sobre el número de eventos que se producen entre el personal militar de los Estados Unidos y el trauma acústico; ya que éste último no ha sido una lesión de notificación obligatoria para el personal militar (AMSA, 1998; Ohlin, 2004a). Los informes de pérdida de audición entre 62 % del personal con lesiones por onda expansiva que fueron tratados en el Walter Reed Army Medical Center a partir de marzo de 2003 hasta mayo de 2005 (  $n = 414$ ) (Chandler, 2005) proporcionan una indicación de que el trauma acústico está ocurriendo, y es probable que se produjo en el pasado, pero no constituye una prueba suficiente para estimar su incidencia global. Es probable que los casos de pérdida de audición como resultado de un trauma acústico se incluyan en el resto de los datos analizados. (14)

## **EVALUACION DE PACIENTES CON DAÑO AUDITIVO INDUCIDO POR RUIDO**

La evaluación de pacientes expuestos a ruido consiste en un interrogatorio completo, historia laboral, exploración física y aplicaciones de estudios auxiliares de gabinete para explorar la funcional de la audición aplicando una batería completa de pruebas audiométricas que consisten en la realización de audiometría tonal (vía aérea y ósea), logaudiometría e impedanciometría. (3)(15).

### **A) ESTUDIO AUDIOMÉTRICO**

Las características audiométricas del trauma acústico o daño auditivo inducido por ruido se pueden encontrar como:

1. Disminución en los umbrales auditivos para las frecuencias altas, con un nicho característico en 4-6 KHz;
2. Detección de reclutamiento
3. Disminución de la amplitud o pérdida de emisiones otoacústicas, con predominio en las frecuencias correspondientes la pérdida auditiva.
4. Modificación en la inteligibilidad del lenguaje, sobre todo en un ambiente ruidoso.

El estudio debe ser realizado como mínimo después de 14 horas a partir de la última exposición al ruido para evitar el deterioro temporal de los umbrales. En la mayoría de los casos la hipoacusia será simétrica, aunque un 5-6% de los audiogramas pueden ser asimétricos aunado a mayor exposición de alguno de los dos oídos. (3)

### **• CLASIFICACIONES AUDIOMÉTRICAS DE LA HIPOACUSIA INDUCIDA POR RUIDO**

Según el perfil audiométrico podemos clasificarlas en 3 grados tomando en cuenta las siguientes características:

1. 1er grado. Las alteraciones audiométricas muestran desplazamiento del umbral auditivo solo para la frecuencia de 4000 Hz, sin que necesariamente rebase los límites de la audición normal. (15)

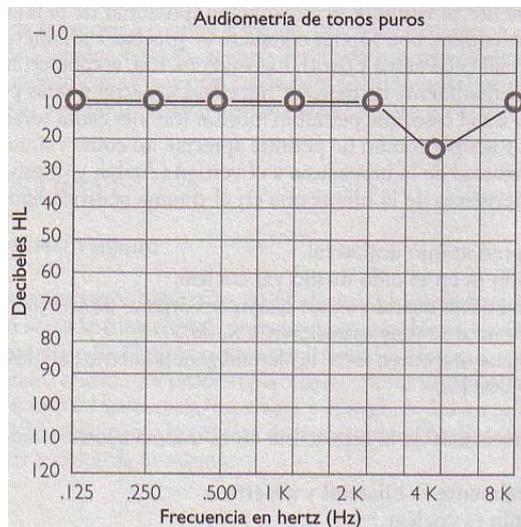


Figura 1. Trauma acústico de primer grado.

2. 2do grado. Además del desplazamiento en esta frecuencia se afecta el umbral de respuesta en otra frecuencia, casi siempre en 8000 Hz. (15)

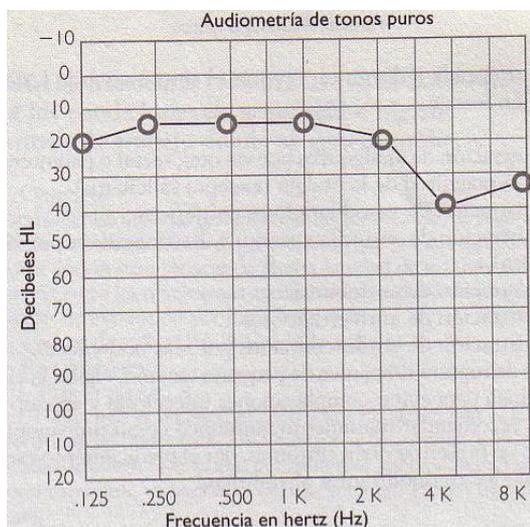


Figura 2. Trauma acústico de segundo grado.

3. 3er grado. Afecta una tercera frecuencia, siendo la de 2000 Hz, pero en ocasiones llegan a afectar más de 3 frecuencias. (15)

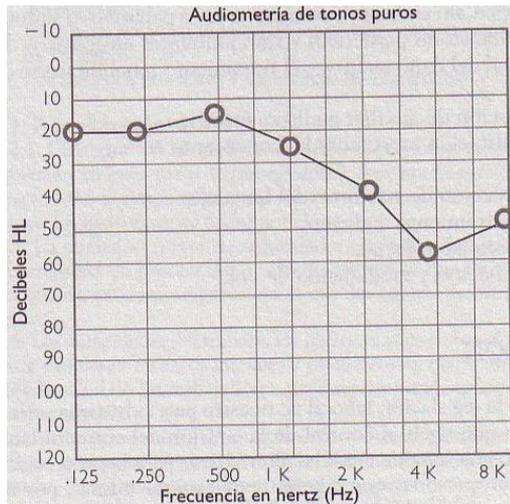


Figura 3. Trauma acústico de tercer grado.

A pesar de ser esta última la clasificación más empleada por la facilidad de representación, existe otra clasificación que describe 5 perfiles con relación al estudio audiométrico, resultando ser mas detallada como se describe a continuación.

- A) Descenso discreto a 4 KHz, con discriminación auditiva del 96% (Figura 4-A).
- B) Incremento para la amplitud y profundidad del descenso en la frecuencia de 4 KHz, con una discriminación del 80% (Figura 4-B).
- C) Hipoacusia significativa a 5 ó 6 KHz, con una discriminación del 70%(Figura 4-C).
- D) En un periodo de años, el déficit se profundiza, con predominio a la izquierda, conservado una discriminación del 60% (Figura 4-D)
- E) Ausencia completa de la percepción auditiva en las frecuencias altas entre los 0.5 y los 8000 Khz (Figura 4-E).

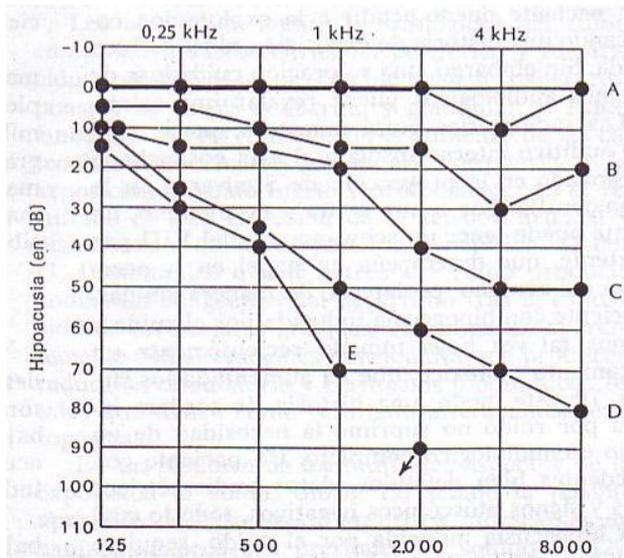


Figura 4. Perfiles audiométricos de hipoacusia inducida por ruido.

Con mayor frecuencia encontramos hipoacusia audiométrica más pronunciada en hombres que en mujeres, lo cual se explica por el hecho de que los hombres están más frecuentemente expuestos a ruido que las mujeres, aunque parecen ser no sólo más susceptibles al ruido sino también a la hipoacusia degenerativa. Existen numerosos estudios que demuestran una mayor susceptibilidad de hipoacusia inducida por ruido en adultos mayores que en jóvenes. (3)

Se ha demostrado una diferencia entre oídos derecho e izquierdo en la vulnerabilidad al ruido en numerosos estudios, siendo el oído izquierdo el que presenta peor audición. (16)

## B) LOGOaudiometría

Este es un estudio útil para la demostración alteraciones en los umbrales de inteligibilidad, del lenguaje, característicos de un daño auditivo originado por ruido. (3)

## C) Timpanometría

Este estudio audiológico es básico para la detección de patología a nivel de oído medio, cuando detectamos un gap aéreo-óseo mayor a 15 dB en la audiometría tonal.

## **D) REFLEJO ESTAPEDIAL**

Este estudio nos demuestra la presencia del reflejo estapedial como respuesta a la exposición de ruido intenso y es importante para el diagnóstico de reclutamiento, cuando hay una diferencia entre el umbral del reflejo estapedial y el umbral audiometría menor de 60 dB HL, lo cual permite inferir que el daño se encuentra a nivel coclear. (3)

## **E) EMISIONES OTOACÚSTICAS (EOA)**

Las emisiones otoacústicas son vibraciones mecánicas generadas en la cóclea, que se transmiten a través del fluido linfático en la cóclea y por el oído medio al conducto auditivo externo (CAE), donde con un micrófono pueden registrarse sonidos débiles.

Se han descubierto dos clases de emisiones otoacústicas:

- Espontáneas: son sonidos continuamente emitidos por el oído y consisten en uno o varios tonos puros.
- Provocadas: sólo ocurren después de una pequeña estimulación con cualquier tipo de estímulo.

Estas se pueden clasificar según el estímulo empleado para evocarlas:

1. Emisiones otoacústicas transitorias (EOATs).
2. Productos de distorsión (EOAPD).
3. Emisiones otoacústicas por estímulo frecuencial (EOAef).
4. Enmascaramiento simultáneo ipsilateral y contralateral (3,17, 24)

Por motivos de interés de esta tesis solo se describirán las 2 primeras.

## **EMISIONES OTOACÚSTICAS TRANSITORIAS (EOATs)**

Las emisiones otoacústicas transitorias son respuestas de frecuencia que surgen en la cóclea y que pueden medirse en el conducto auditivo externo después de un breve estímulo acústico que se repite cada 20 ms, el cual puede ser un click o un tono burst de 1.5 KHz. Este estímulo desencadena las EOATs en el 100% de los oídos normales, de su presencia en oídos normo oyentes deriva su importancia clínica.

Para su desarrollo se encuentran implicados mecanismos no lineales de distorsión, relacionados con la amplificación que se produce sobre la onda basilar y fuentes de reflexión directa que representan el reflejo que la energía sonora entrante genera en diferentes zonas distribuidas por la membrana basilar.

La amplitud de las emisiones otoacústicas transitorias disminuye en función de la edad, independientemente del estudio audiométrico. Éstas brindan una medida exacta de la salud de la cóclea, por medición de los movimientos activos de las células ciliadas externas. Asimismo, representan la activación de amplias regiones de las células ciliadas y constituyen un medio para observar la actividad coclear a través del rango de frecuencias del habla (1 a 3 KHz); se obtienen en oídos con audición normal. (24)

Según la intensidad del estímulo sonoro la actuación coclear es diferente; así a bajas intensidades predominarían los fenómenos lineales de reflexión y a altas intensidades se incrementaría el factor no lineal en la respuesta. (19)

Presentan un espectro de banda ancha entre 750 y 4000 Hz y un cierto número de picos de banda estrecha. Algunos de estos picos de banda estrecha corresponderían a Emisiones Otoacústicas Espontaneas. Pueden ser registradas en la casi totalidad de los oídos normales, incluso en recién nacidos. Generalmente se registran con similar incidencia en niños, jóvenes o adultos. Sin embargo, y debido quizás al menor volumen del CAE, la amplitud de las otoemisiones en los niños es habitualmente mayor que la registrada en condiciones similares en los adultos.

En el caso de las EOATs, a diferencia de las espontáneas, la sonda acústica debe incorporar necesariamente un emisor de estímulos. (19)

En principio las EOATs pueden ser registradas en todos los oídos de sujetos menores de 60 años de edad. Por encima de este límite de edad, la prevalencia disminuye hasta el 35%. Los umbrales de las EOATs son con frecuencia inferiores que los correspondientes umbrales psicoacústicos. Este hecho apoya el concepto de un origen mecánico preneural de las EOATs. Por desgracia la detección del umbral mediante EOATs depende de múltiples factores que no están bajo el control del examinador, como puede ser la presencia de las Emisiones Otoacústicas Espontaneas. En consecuencia, para un individuo dado, no es posible calcular el umbral audiométrico mediante la medición del umbral de las EOATs. (19)

Las respuestas de las emisiones otoacústicas transitorias pueden dar una indicación específica del estado coclear por frecuencia específica. La generación de las emisiones otoacústicas depende de la viabilidad y condición del oído interno, medio y externo. (17) La amplitud de las EOAT depende de la intensidad del estímulo, del número y frecuencia de las emisiones dominantes coexistentes.

Se ha observado una excelente relación entre el umbral tonal y las emisiones otoacústicas en sujetos con audición normal y con pérdida auditiva. En un estudio con lactantes menores de tres meses se observó que cuando el umbral de la onda era menor de 30 dB HL había emisiones otoacústicas, pero no las había cuando éste era mayor de 40 dB HL. (24)

Las aplicaciones clínicas de las emisiones otoacústicas se focalizan principalmente en la capacidad que tienen de identificar las hipoacusias neurosensoriales periféricas, detectando a los sujetos con pérdida auditiva superiores a 40 dB HL. Las EOATs proporcionan información útil para discernir la presencia o ausencia de la facultad coclear de producir emisiones acústicas.

Se debe separar la EOATs del estímulo aplicado; así como, del ruido de fondo del ambiente y evaluar si la señal obtenida tiene las características de una EOATs. El estímulo es sintetizado digitalmente, la respuesta emitida es llevada al procesador analógico digital que es gobernado por un procesador. (19)

La sonda de las EOAsT es de plástico contiene un micrófono una bocina, en niños pequeños el estímulo se reduce de 20 a 10 dB. El estímulo del click que

da el software es generado por un pulso eléctrico rectangular no filtrado de 80 mseg de duración resultando en una señal acústica transitoria de 90 dB SPL y se presentan a un promedio de 50 por segundo.

Por operación no lineal el promedio es realizado de manera separada y alternante, resultado de 2 distintas mediciones cada una con respuesta de 260 clicks. El tiempo de análisis postestímulo es de 20 milisegundos, nulificando los primeros 2.5 miliseg para eliminar errores. El software rechaza el ruido ambiental. (19)

Se considera una respuesta adecuada una reproductibilidad mayor 70%. La reproductibilidad menor de 70 indica la existencia de un posible mal funcionamiento auditivo. Las emisiones otoacústicas transitorias están presentes en 85 a 100% de los normo-oyentes; su detección es posible desde el nacimiento. Varios investigadores han demostrado que cualquier enfermedad del oído medio impide la medición de la emisión en el canal auditivo y que un gradiente de presión entre el canal auditivo y el oído medio puede ser causa de reducción de la amplitud de las emisiones.(24)

Se estudia frecuencias de 400 a 5000 Hz. La amplitud normal en niños es de 10 dB aun que puede llegar hasta 18 dB, en adultos por arriba de 7 a 8 dB se considera normal. (18)

Se espera que los individuos con integridad normal del oído medio y función normal de las células ciliadas externas de la cóclea tengan altos valores de reproductibilidad; asimismo, que la relación entre el porcentaje de reproductibilidad y la señal de ruido de fondo a cada banda de medias octavas de frecuencia tenga concordancia.

Muchas variables afectan la existencia y magnitud de las emisiones otoacústicas, las alteraciones del oído medio y externo, el nivel de ruido ambiental, interno y biológico, el número de barridos promedio, y las características primarias del tono. (24)

Uso clínico:

1. La detección de EOAsT se da en 99% de los oídos normales.
2. Las propiedades de las EOAsT varían según la configuración audiométrica y la etiología.
3. En otosclerosis desaparece en un umbral mayor a 30 dB.
4. En Otitis media crónica desaparecen en un umbral mayor a 35 dB, si están presentes las amplitudes están disminuidas y la latencia alargada.
5. En presencia de líquido en oído medio solo hay respuesta por arriba de 2 Khz.
6. En patología coclear desaparecen en hipoacusia mayor a 30 dB. (19)

### **EMISIONES OTOACÚSTICAS POR PRODUCTOS DE DISTORSIÓN (EOAPD)**

Son respuestas de intermodulación provocadas por dos tonos puros simultáneos llamados tonos primarios. En los humanos el más importante producto de distorsión es la frecuencia cúbica del tono. Específicamente si dos tonos en las frecuencias de F1 y F2, 55 y 75 dB SPL son aplicados receptivamente (F2-F1) están presentes externamente, un tercer tono se producirá internamente (2F2-F1). Tal respuesta se considera o se conoce como de distorsión, ya que se produce en la cóclea como una señal tonal que no estaba presente en los tonos primarios. La frecuencia más baja de estos se considera F1 (y su nivel como L1) y la frecuencia más alta se considera F2 (nivel L2).

Las EOAPD, brindan información específica en las frecuencias entre 500 y 8000 Hz siendo F1 una frecuencia grave y F2 aguda, ya que tienen un origen diferente.

La amplitud de los productos de distorsión (PD) depende tanto del radio de frecuencia como del nivel de separación de los tonos primarios. En los adultos se ha establecido un nivel de radio de 1.22 para F2/F1 como el óptimo para provocar los productos de distorsión más robustos. La amplitud de los productos de distorsión disminuye cuando F2-F1 se incrementa o se disminuye,

formando una función de paso de banda. La función de ratio de frecuencia (amplitud PD x  $F2/F1$ ) se cree que es el reflejo de las propiedades de filtrado de la cóclea.

Las EOAPD, se presentan en prácticamente todos los oídos sanos aunque su representación gráfica son repuestas pequeñas de 5 a 15 dB. De hecho son de 60 a 70 dB menores respecto a los tonos de estimulación empleados. Estas emisiones no se producirán sólo por un proceso analógico de un supuesto tipo de no-linealidad, como sucedería en una amplificación saturada. Más bien el generador funciona con un nivel de estímulo muy bajo y es un parámetro normal del estímulo coclear, relacionado con el comportamiento no lineal de las CCE, que ante niveles bajos de sonido utiliza energía metabólica para incrementar el movimiento de la membrana basilar en respuesta al sonido en la región tonal correspondiente. De modo que se cree que los Productos de Distorsión (PD) están producidos por procesos cocleares activos encargados de optimizar la vibración de la membrana basilar; a esto se llama amplificación coclear.

Se requiere una sonda adaptada a una oliva en el CAE llevando 2 micrófonos de modo que  $F1$  y  $F2$  están entremezclados acústicamente y no eléctricamente para evitar la formación de artefactos de intermodulación. A diferencia de las EOATs, las EOAPD se miden en presencia de los tonos de estimulación, que son detectados usando filtros de banda estrecha, se realiza un análisis de Fourier ya que se encuentran separadas en frecuencias de los tonos enviados que son más grandes. Los tonos presentados pueden ser de larga duración o continuos, lo importante es que el tiempo de muestreo de la respuesta coincida con la fase de los productos de distorsión. Debido al ruido ambiental como fisiológico (potenciales miogénicos) es difícil medir productos de distorsión menores a 1 Hz. A frecuencias altas se obtiene información útil hasta 6000 Hz.

Otra respuesta usada con frecuencia es la función de la respuesta de la entrada y salida (I/O) que gráfica la amplitud del producto de distorsión con función de los tonos primarios en un número determinado de estímulos crecientemente progresivos en intensidad en una gama discreta de frecuencias. La utilidad es que se puede detectar un umbral, por ejemplo se puede considerar 3 dB sobre el ruido de fondo.

Los Productos de Distorsión tienen ventajas en comparación con otros tipos de emisiones. Son específicos para diferentes frecuencias y muestran mayor sensibilidad en cuanto a que puedan ser producidos por cócleas con mayores grados de pérdida auditiva que las transitorias. Mientras las EOATs no se registran con hipoacusias mayores de 30 dB, los Productos de Distorsión se detectan incluso con pérdidas a 55 dB. La correlación del umbral tonal y EOAPD es negativa; la amplitud disminuye conforme incrementa el umbral.

Una posible explicación es que el estímulo que las produce tiene más o menos la intensidad. En las EAOTs se trata de un click de duración breve cuya energía se dispersa en toda la gama de frecuencias de modo que estimula a toda la cóclea. Mientras que en los PD su estímulo es continuo y no se dispersa en todas la cóclea.

## **EMISIONES OTOACÚSTICAS Y TRAUMA ACÚSTICO**

Las EOA son un método objetivo de estudio de la función coclear útiles para evidenciar las alteraciones cocleares antes de que estas se manifiesten con signos audiométricos habituales. Contribuye a la detección temprana de alteraciones subclínicas en poblaciones expuestas a ruido; permitiendo utilizarlas como un sistema de monitorización de la función coclear y alcanzar un diagnóstico precoz de los efectos ocasionados por sobre-exposición a ruido.

(9)

Después de la exposición a ruidos intensos se observa ausencia de EOATs efectuadas con click, reflejando una ausencia de respuesta en tonos agudos, y en los PD se ve disminuida su amplitud en las frecuencias agudas en el DP grama, y elevados sus umbrales en las frecuencias agudas. (15)(20).

Distintos estudios han mostrado cambios en las emisiones otoacústicas que preceden la alteración de los umbrales auditivos, sugiriéndose este estudio como posible predictor de la sensibilidad auditiva. En un estudio de tipo longitudinal, realizado por Dwdevany en donde se evaluó un grupo de soldados mediante estudio audiométrico y emisiones otoacústicas se observó que los

niveles en las emisiones otoacústicas transientes disminuye posterior a la exposición a ruido. Estudios previos (Attias y colaboradores, 1995; Suckfull y colaboradores, 1996) sugieren que un decremento en los niveles obtenidos en las EOATs posterior a exposición a ruido es un indicador de pérdida de células pilosas externas y por tanto predictor de hipoacusia permanente. (21)(22).

En estudios donde se ha monitorizado los efectos de la exposición a ruido usando EOATs se han reportado cambios significativos en la amplitud de la respuesta en el rango de 2 a 4 KHz, mientras que los cambios en el rango de frecuencia de 0.5 a 2 KHz no fueron significativos. Comparando los resultados de las EOATs con los umbrales de tonos puros, demostraron que las EOATs pueden ser más sensibles que la audiometría para la detección de daño coclear. (27)

En un estudio transversal, dos grupos de individuos expuestos y no expuestos a ruido ocupacional con límites tonales dentro de la normalidad durante 12 meses, los exámenes se realizaron con reposo acústico de por lo menos 14 horas para los sujetos expuestos a ruido ocupacional. Las respuestas de las EOAPD se consideraron para cada individuo de los dos grupos; y las frecuencias de 3, 4 y 6 khz por ser las frecuencias en las que ocurren las alteraciones precoces relacionadas con Pérdida Auditiva Inducida por Ruido Ocupacional (PAIRO), en este se observó que existe una asociación entre la respuesta ausente de las EOAPD para los trabajadores expuestos a ruidos en relación con los no expuestos. Para Fukuda las EOAPD son afectadas en frecuencias altas en los individuos expuestos a ruidos e identifica de manera temprana las alteraciones cocleares que preceden la instalación de PAIRO y conforme el límite auditivo verificado por la audiometría aumenta, la amplitud de los Productos de Distorsión disminuye. Las respuestas ausentes en el registro de las EOAPD fue mayor para los trabajadores expuestos, considerándose los resultados en las frecuencias de 3, 4 y 6 KHz. El registro de las EOAPD es un auxiliar auditivo en el diagnóstico de PAIRO permitiendo acciones precoces de protección auditiva en beneficio de los trabajadores expuestos a factores de riesgos auditivos. (23)

La aplicación de las EOAPD tiene importancia en la patología auditiva por exposición a ruido debido a su característica de análisis frecuencial, su especificidad y sensibilidad, capaces de evidenciar el daño de las células pilosas externas precozmente, lo que permitirá prevenir el desarrollo de hipoacusia por exposición a ruido.

Las EOAPD se encuentran presentes en un 100% de individuos con audición normal. En el deterioro normal y progresivo causado por la edad se observa disminución de la amplitud de las EOAPD en especial en altas frecuencias. A medida que se aumenta el umbral audiométrico se disminuye la amplitud de los productos de distorsión estando ausentes cuando los umbrales se elevan sobre los 50 a 60 db HL. Los niveles de productos de distorsión se correlacionan con los niveles audiométricos, determinando el umbral de audición. Se emplean para detectar de manera temprana los trastornos auditivos incipientes ya que se alteran antes que los signos audiométricos tonales.

Se relaciona con los sujetos expuestos a ruido laboral una menor amplitud de las EOAPD que presentan al compararlas con las del grupo control, por el efecto nocivo que ejerce sobre las células pilosas externas de la cóclea, la exposición prolongada a ruidos de alta intensidad, señala un daño incipiente de dichas células. La disminución en la amplitud de las EOAPD a medida que aumentan las frecuencias, se explicaría por la destrucción de las células pilosas externas de la base de la cóclea que codifican frecuencias agudas y que son las primeras en ser afectadas por la exposición a ruido. Las frecuencias agudas 4 y 6 KHZ son las más afectadas por la exposición a ruido.  
(8)

Se ha documentado que las EOAPD son más aplicables a la evaluación clínica y seguimiento del efecto de la edad y de la exposición a ruido que las EOATs; mientras que las EOATs parecen ser más sensibles a la monitorización de cambios tempranos a nivel de cóclea. (3)(22)

## **II. METODOLOGÍA**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El trauma acústico es un problema grave que afecta al personal militar de todo el mundo. Puede llegar a crear incapacidad auditiva que obliga al personal joven, calificado y competente apartarse de sus actividades laborales.

En países desarrollados el daño inducido por ruido produce pérdidas económicas por discapacidad auditiva que asciende a miles de dólares; en el sector militar no es la excepción, por lo cual han implementado programas de prevención por lo menos en las prácticas de entrenamiento.

En México, se tiene noción de que existen estos reglamentos pero por desgracia no se llevan a cabo como debería, tal vez sea por ignorancia de los mismos o por falta de recursos económicos de las propias instituciones.

## JUSTIFICACION

El motivo por el que se decidió realizar este estudio de investigación, es poder detectar de forma temprana alteraciones a nivel coclear en una población susceptible a daño inducido por ruido como lo es el personal de infantería; que como parte de su formación y actividad laboral deben estar expuestos al ruido que producen los diferentes tipos de armas de fuego a su cargo.

Además de la detección precoz, es conveniente informar al personal el grado de audición actual, y en su caso proporcionar recomendaciones para evitar más daño auditivo.

La medición se realizará a través de las emisiones otoacústicas, que son un método no invasivo pero sensible, que nos proporcionan una evaluación objetiva y funcional de las células pilosas externas que son las principales afectadas en la pérdida de la audición por ruido.

## **HIPÓTESIS**

Existen diferencias en la amplitud de la respuesta con emisiones transcientes y por productos de distorsión en oído derecho e izquierdo en los infantes de marina expuestos a ruido de arma de fuego.

## **OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

### **OBJETIVO GENERAL:**

- Detectar daño coclear inducido por el ruido de armas de fuego en el personal de infantería de marina.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar el tipo de arma más utilizada y tiempo de exposición en el personal de infantería de marina
- Determinar si existen diferencias auditivas uni o bilateral por la exposición a ruido por armas de fuego mediante la detección de trauma acústico.
- Realizar emisiones otoacústicas transientes e identificar alteraciones de la función coclear en ambos oídos.
- Realizar emisiones otoacústicas por productos de distorsión e identificar alteraciones de la función coclear en ambos oídos.
- Comparar cambios en la amplitud de la respuesta de las emisiones otoacústicas transientes y por productos de distorsión en personal de infantería expuesto a ruido por el uso de armas de fuego.
- Determinar el oído más susceptible a sufrir daño coclear por la exposición al ruido del arma de fuego.

## MATERIAL Y METODOS

### DISEÑO DEL ESTUDIO:

Transversal, Descriptivo.

**LUGAR Y TIEMPO DE ESTUDIO:** Este estudio se realizó en las instalaciones del Instituto Nacional de Rehabilitación, en la Ciudad de México, en el área de Audiología, durante el periodo de marzo a junio de 2011.

### POBLACION

#### TIPO DE MUESTRA: Censal

La población requerida para este estudio consistió en Infantes de Marina de la Armada de México con exposición a ruido de arma de fuego.

### DEFINICIONES OPERATIVAS

### VARIABLES

#### Variable independiente:

Exposición a ruido de arma de fuego en infantes de marina de la Armada de México.

#### Variable dependiente:

Amplitud de la respuesta de las emisiones otoacústicas transcientes y por productos de distorsión.

Parámetros de las Emisiones Otoacústicas Transcientes:

- Estabilidad: expresado como un porcentaje (%)
- Reproducibilidad del total de la onda: expresado como un porcentaje (%)
- Reproducibilidad por bandas de medias octavas a 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 y 4.0 kHz expresados como un porcentaje (%).
- Respuesta (dB): se obtiene mediante la transformada rápida de Fourier. Respuesta válida si el nivel de intensidad es mayor que el nivel de fondo, 3 dB.

#### Parámetros de las Emisiones Otoacústicas por Productos de Distorsión:

- Relación F2:F1= 1.21 a 1.22
- Intensidad: F1= 70 dB SPL y F2=70 dB SPL
- Frecuencia: (F2)= 705 Hertz (Hz) a 9512 Hz.

#### **Categorización de otras variables:**

- Años de exposición activa en infantería de marina
- Lateralidad manual del tirador
- Tipo de arma
- Tipo y frecuencia de uso de protección auditiva.

#### **RECURSOS MATERIALES:**

##### MATERIAL EMPLEADO:

1. Consultorio del servicio de Audiología del Instituto Nacional de Rehabilitación
2. Formato de ficha de identificación e interrogatorio clínico
3. Abatelenguas
4. Otoscopio Marca Welch Allyn
5. Conos de plástico desechables para realizar otoscopia
6. Cucharilla
7. Bolígrafos
8. Corrector
9. Folders tamaño carta
10. Hojas blancas (para imprimir resultados).

##### EQUIPO EMPLEADO

11. Cámara sonoamortiguada Acoustic Systems
  - a. Audiómetro Orbiter 922, Versión 2, Clinical audiometer, Madsen Electronics

- b. Audífonos TDH39
  - c. Audífonos EAR 32
  - d. Impedanciometro Madsen Zodiac 901
  - e. Olivas de impedanciometría
  - f. DVD Player Philips DVP4060
  - g. Computadora DELL Optiplex Gx 520
  - h. Impresora HP Deskjet 6540
  - i. Software NOAH System 3
12. Equipo para Emisiones Otoacústicas ILO
- a. Computadora Sync Master 450Nb Samsung
  - b. Software ILO 96
  - c. Unidad otodynamics ILO 96 OAE System
  - d. Sonda para emisiones otoacústicas Otodynam
  - e. Olivas para emisiones otoacústicas
13. Equipo de Otorrinolaringología.
14. Internet y Bibliohemeroteca del INR
15. Base de Datos Med Line, Imbio Med, OVID, Pub med.
16. Procesador de Textos Office Word 2007
17. Software Office Excel 2007
18. Software SPSS 17.0 para el análisis estadístico.
19. Computadora SONY VAIO

### **RECURSOS HUMANOS:**

- Dra. Lucila Vázquez Ramírez, Residente de Audiología, Otoneurología y Foniatría.
- Dra. Nieves del Rosario Ocaña Plante, Médico Adscrito al servicio de Audiología del Instituto Nacional de Rehabilitación.
- Dr. en C. Emilio Arch Tirado, Jefe del Laboratorio de Bioacústica del Instituto Nacional de Rehabilitación.

## **CRITERIOS DE INCLUSIÓN**

- Infantes de marina activos con exposición a uso de armas de fuego
- Cualquier sexo
- Sujetos que acepten participar en el estudio
- Timpanometría con curvas tipo “A” de Jerger bilateral

## **CRITERIOS DE EXCLUSIÓN**

- Antecedentes de patología auditiva previa diagnosticada.
- Antecedentes hereditarios de patología auditiva
- Antecedente de exposición a ruido previo al ingreso a la marina
- Antecedentes de enfermedades crónico degenerativas (diabetes mellitus tipo 2, hipertensión arterial sistémica, hipercolesterolemia, etc.)
- Alteración de oído medio detectada o que cursen actualmente con enfermedades infecciosas vías aéreas superiores o patología otorrinolaringológica importante (desviación septal, etc.)
- Pacientes con antecedente de cirugía otológica.
- Timpanometría con curvas tipo “As”, “B”, “C”
- Personal que no desee participar en el estudio.

## **CRITERIOS DE ELIMINACION**

- Enfermedad de oído medio detectada en el transcurso de su estudio mediante timpanometría
- Personas que no finalicen la valoración audiológica completa

## PROCEDIMIENTO

1. Para llevar a cabo este estudio, se realizó una invitación al personal de diversos batallones de infantería de marina de la Armada de México pertenecientes a la Secretaría de Marina ubicados en el Distrito Federal, que estuvieran expuestos a ruido por armas de fuego.
2. En un periodo comprendido de marzo a junio de 2011, se les programó una cita para asistir a la realización de estudios audiológicos al Instituto Nacional de Rehabilitación, previa autorización y firma de consentimiento informado (Anexo 1), se elaboró historia clínica completa a cada infante de marina con interrogatorio dirigido haciendo énfasis el tiempo de exposición al ruido, tipo de armas, sintomatología audiovestibular (sensibilidad para ruidos intensos, hipoacusia, algiacusia, fallas en la discriminación fonémica, mareo, vértigo, previo o posterior al inicio de exposición a armas de fuego y antecedentes personales y familiares para patología auditiva)(Anexo 2).
3. Posteriormente se realizó exploración física poniendo énfasis los hallazgos de la otoscopia la cual se realizó con otoscopio Marca Welch Allyn y conos de plástico desechables a cada infante de marina. Los que presentaron cerumen en conducto auditivo externo se les retiró mediante cucharilla y cuando no fue posible por este método se realizó lavado mecánico con equipo de otorrinolaringología sin presentar ningún incidente. Permitiendo así la visualización completa de las características de la membrana timpánica de cada oído.
4. Se procedió a realizar estudio de timpanometría mediante Impedanciometro Madsen Zodiac 901, previa colocación de oliva para impedanciometría en el oído a testar para corroborar normalidad de oído medio por medio de la clasificación de Jerger, considerando como normal una curva tipo A de Jerger (Compliancias y presiones normales siendo en adultos: compliancia de 0.5 a 1.5 cc).
5. Una vez corroborada la normalidad de oído medio se procedió a realizar audiometría tonal liminal dentro de una cámara sonoamortiguada Acoustic Systems mediante Audiómetro Orbiter 922, Versión 2, Clinical

audiometer, previa colocación de Audífonos TDH39 con el paciente sentado, para valorar la vía aérea en las frecuencias de 125 a 8000 Hz y establecer el umbral auditivo de cada infante al registrar su respuesta, en el caso que se requirió se realizó vía ósea con la colocación de vibrador óseo en mastoides. Se obtuvo el promedio en las frecuencias de 500, 1000 y 2000 Hz para realizar logaudiometría mediante una cinta reproducida con un DVD Player Philips DVP4060. Los datos fueron registrados mediante una computadora DELL Optiplex Gx 520 y el Software NOAH System 3, que al finalizar los resultados de los estudios se imprimieron con Impresora HP Deskjet 6540.

6. Para medir las emisiones otoacústicas en el caso de las transientes (EOAT) se ha usado el sistema ILO 96, el cual está compuesto de interfases análogo a digital y digital a analógico, un preamplificador, un micrófono y un *software* para manejar el estímulo y guardar los datos elaborados en una Computadora Sync Master 450Nb Samsung. Se colocó una Oliva para emisiones otoacústicas acoplada a una sonda para emisiones otoacústicas Otodynam que conecta al equipo con en el oído ha testar para conocer la función coclear, tomando como respuesta válida si el nivel de intensidad es mayor que el nivel de fondo, 3 dB. Se midió la Reproducibilidad total de la onda, Reproducibilidad por bandas de medias octavas a 1.0, 1.5, 2.0. 3.0 y 4.0 kHz; tomando en cuenta los parámetros de 70% como límite de normalidad tanto en la reproductibilidad total como en la estabilidad de la prueba. Para la normalidad en la Reproducibilidad por bandas de medias octavas a 1.0, 1.5, 2.0. 3.0 y 4.0 kHz reportada en dB se consideró normal una respuesta mayor a 5 dB.
7. En el caso de las Emisiones por Productos de Distorsión (EOAPD) el PD- grama (gráfica de los productos de distorsión) se obtuvo los 2F1-F2, utilizando como estímulos de dos tonos primarios F1 y F2. La relación  $F2/F1$  de las frecuencias de los tonos primarios será constante, con un valor promedio entre 1.21 a 1.22. Se registraran EOAPD a 8 puntos por octava, con rango extendido (800 Hz a 6 KHZ), con un estímulo de 70 dB SPL de intensidad. Se tomarán como adecuadas las respuestas de intermodulación con una amplitud igual o mayor a 3 dB con respecto al

ruido de fondo. Los resultados de los estudios se imprimieron con Impresora HP Deskjet 6540.

8. Se realizó una base de datos en Software Office Excel 2007 donde se capturaron todos los resultados obtenidos en la historia clínica, audiometría tonal liminal, amplitudes de las respuestas de las Emisiones Otoacústicas tanto Transientes como por Productos de Distorsión para cada oído desglosadas por frecuencias
9. Posteriormente se realizó el análisis estadístico con el Software SPSS 17.0, donde se empleó para el análisis descriptivo la evaluación de promedios y porcentajes. Para las pruebas paramétricas se utilizó “t” de student para evaluar si existía diferencias significativas para muestras independientes y relacionadas así como correlación de Pearson para valorar si existía alguna asociación entre 2 variables. En ambos casos se consideraron significativas cuando  $p \leq 0.05$ .

## **CONSIDERACIONES ÉTICAS**

1. En el presente estudio no se sometió al paciente a estudios invasivos.
2. Se obtuvo el consentimiento informado de cada paciente.
3. Los procedimientos realizados están apegados de acuerdo al consejo de ética y conducta del Instituto Nacional de Rehabilitación.

### III. RESULTADOS

Para el estudio se contó con una población de 34 infantes del sexo masculino de la Secretaría de Marina Armada de México, de los cuales 4 fueron eliminados, por no cumplían con los criterios de inclusión.

El rango de edad de los sujetos de estudio fue de 21 a 47 años, con una media de  $30.57 \pm 7.03$  años.

El tiempo de servicio activo expuestos a armas de fuego varía en un rango de 1 hasta 21 años con una media de  $8.4 \pm 5.03$  años. (Ver cuadro 1)

Las diversas armas reportadas durante el interrogatorio se clasificaron en 5 grandes grupos según al tipo de arma al que pertenecen y su intensidad, siendo el tipo de arma más frecuente en orden decreciente fusiles 70% (150 dB), lanzagranadas 23.3% (170 dB), cañones sin retroceso y pistolas 3.3% (180 y 140 dB respectivamente) (ver Cuadro 1).

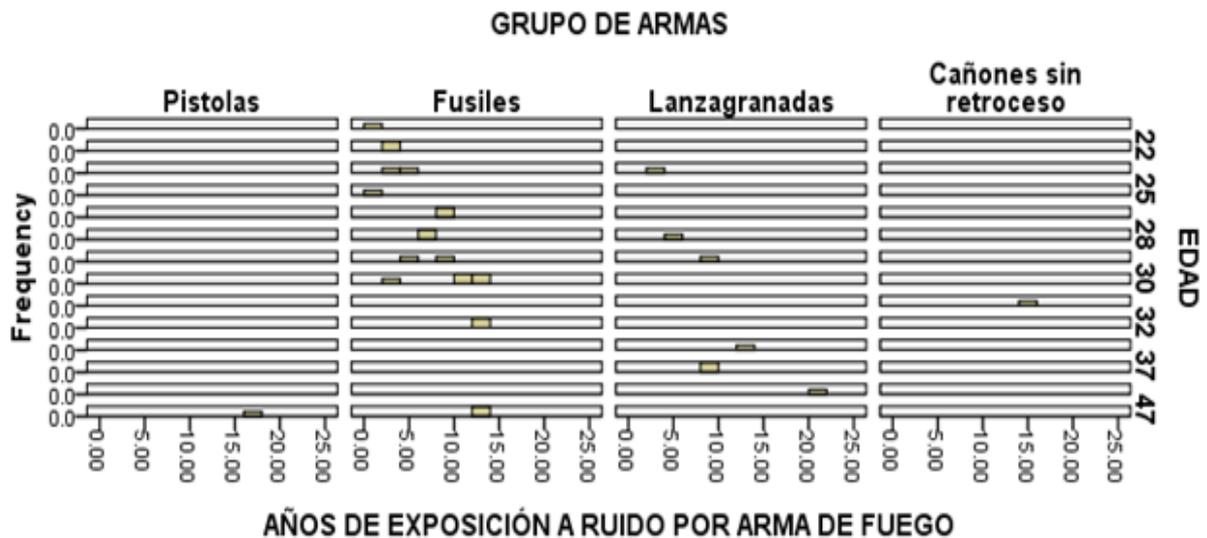
**CUADRO 1. GRUPO DE ARMAS E INTENSIDADES DE DETONACIÓN.**

Grupo de Armas	Personal que utiliza los diferentes grupos de armas	Porcentaje (%)	Intensidad de detonación del arma (dB)
Pistolas	1	3.3	140
Fusiles	21	70.0	150
Lanzagranadas	7	23.3	170
Cañones sin retroceso	1	3.3	180
Total	30	100	

Se observa en el cuadro que el grupo de arma que con mayor frecuencia se utiliza son los fusiles y el arma que detona a mayor intensidad son los cañones.

Se encontró que la lateralidad manual de tiro en los infantes de marina fue diestra en el 100% de los individuos.

**GRAFICA 1. RELACIÓN DEL GRUPO DE ARMAS CON LOS AÑOS DE EXPOSICIÓN Y LA EDAD.**

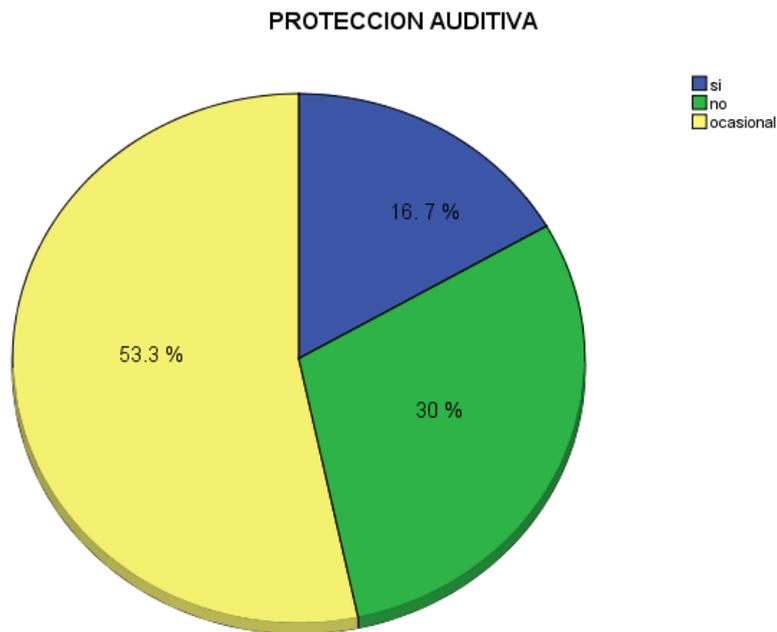


Se aprecia que los años de exposición a las armas de fuego se concentran en los primeros 10 años, siendo los fusiles los más utilizados entre los 20 y 30 años en el grupo de estudio.

En este grupo se encontró que el 16.7% utiliza algún tipo de protección auditiva, el 30% no utiliza y el 53.3% lo llega a utilizar de forma ocasional.

Según el tipo de protección utilizada los tapones industriales son los más frecuentes con un 46.7% seguido de orejeras con un 3.3% y el 20% utiliza protección auditiva improvisada siendo lo más frecuente papel higiénico, algodón, audífonos intracanales del reproductor de MP3, ojivas, etc. (Ver gráfica 2)

## GRAFICA 2. FRECUENCIA DE USO DE PROTECCION AUDITIVA



En ésta gráfica se puede observar que más del 50% del personal de infantería utiliza de forma ocasional algún tipo de protección auditiva

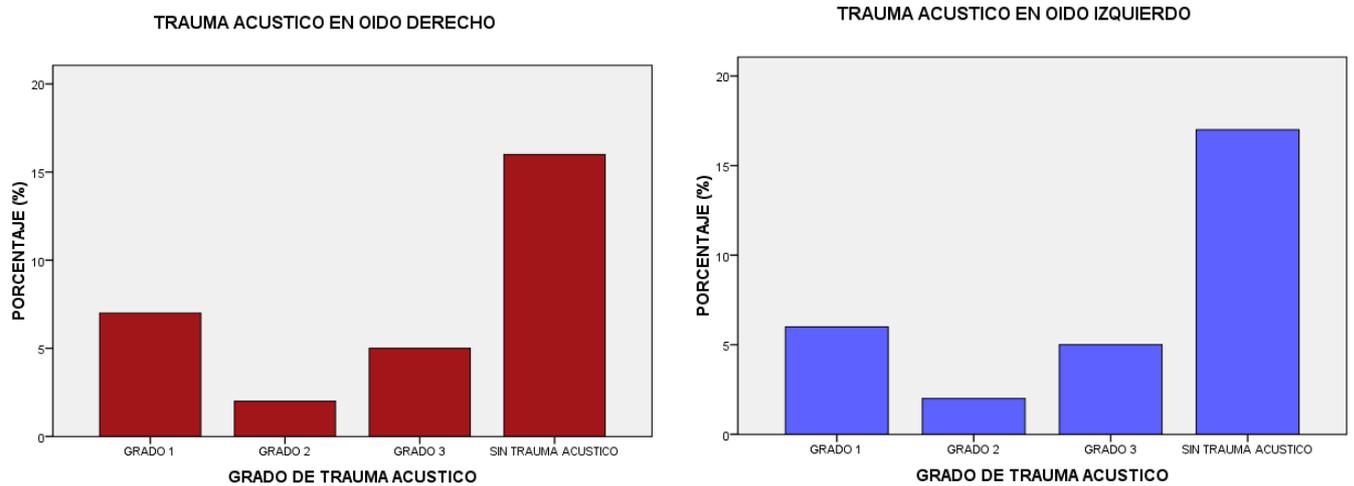
Al realizar la audiometría tonal liminar se identificaron varios patrones de audiométricos característicos de trauma acústico en el personal de infantería; siendo el trauma acústico grado 1 el más frecuente presentándose en el 23% en oído derecho y en el 20% en izquierdo, comportándose de forma muy similar en ambos oídos. Sorprendentemente más del 50% no presentó algún grado identificable de trauma acústico. (Ver cuadro 2 y gráfica 3)

**CUADRO 2. FRECUENCIA DE TRAUMA ACUSTICO EN PERSONAL DE INFANTERIA.**

TRAUMA ACUSTICO				
	OIDO DERECHO		OIDO IZQUIERDO	
GRADO DE TRAUMA ACUSTICO	Frecuencia	Porcentaje (%)	Frecuencia	Porcentaje (%)
1	7	23.3	6	20
2	2	6.7	2	6.7
3	5	16.7	5	16.7
Sin trauma acústico	16	53.3	17	56.7
Total	30	100	30	100

Se aprecian las frecuencias de trauma acústico en ambos oídos, observándose un comportamiento similar.

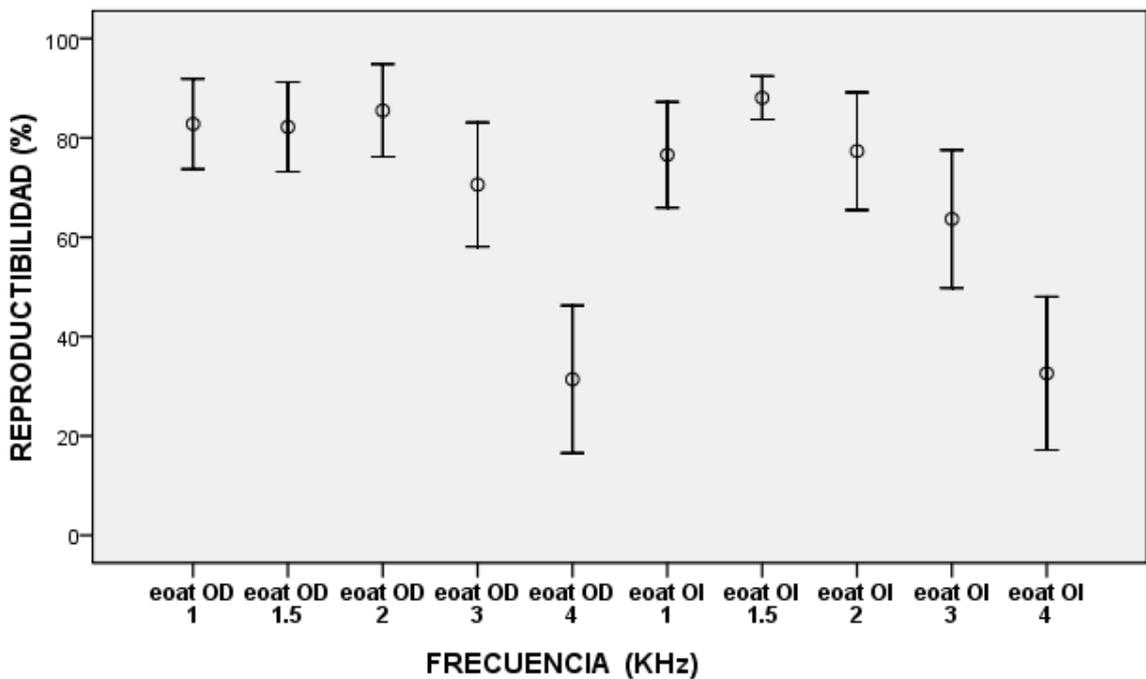
**GRAFICA 3. DISTRIBUCIÓN DEL TRAUMA ACUSTICO EN PERSONAL DE INFANTERIA.**



Se observa como el trauma acústico más frecuente el de grado 1 de forma bilateral.

Al analizar los datos obtenidos de las frecuencias en la EOAT por reproductibilidad global, la amplitud promedio en el oído derecho en 1 KHz fue de 82.80 %  $\pm$  24.37, 1.5 KHz de 82.20%  $\pm$  24.21, 2 KHz 85.50%  $\pm$  24.97, 3 KHz 70.60%  $\pm$  33.51 y en 4 KHz 31.40%  $\pm$  39.78. En oído izquierdo la amplitud promedio fue en 1 KHz de 76.60 %  $\pm$  28.53, 1.5 KHz de 88.06%  $\pm$  11.72, 2 KHz 77.33%  $\pm$  31.72, 3 KHz 63.66%  $\pm$  37.18 y en 4 KHz 32.60%  $\pm$  41.31. (Ver gráfica 4)

**GRAFICA 4. AMPLITUD DE EOAT GLOBAL EN OIDO DERECHO E ZQUIERDO.**



Se puede observar que al comparar las amplitudes de las EOATs en oído derecho e izquierdo reportados por reproductibilidad global (%) se aprecian caídas en las frecuencias altas de forma bilateral.

También se obtuvieron las amplitudes expresadas en dB y al analizarlas se observa una distribución semejante a las expresadas en porcentaje %. (Ver gráfica 5)

**GRAFICA 5. AMPLITUD DE EOAT EN OIDO DERECHO E IZQUIERDO.**

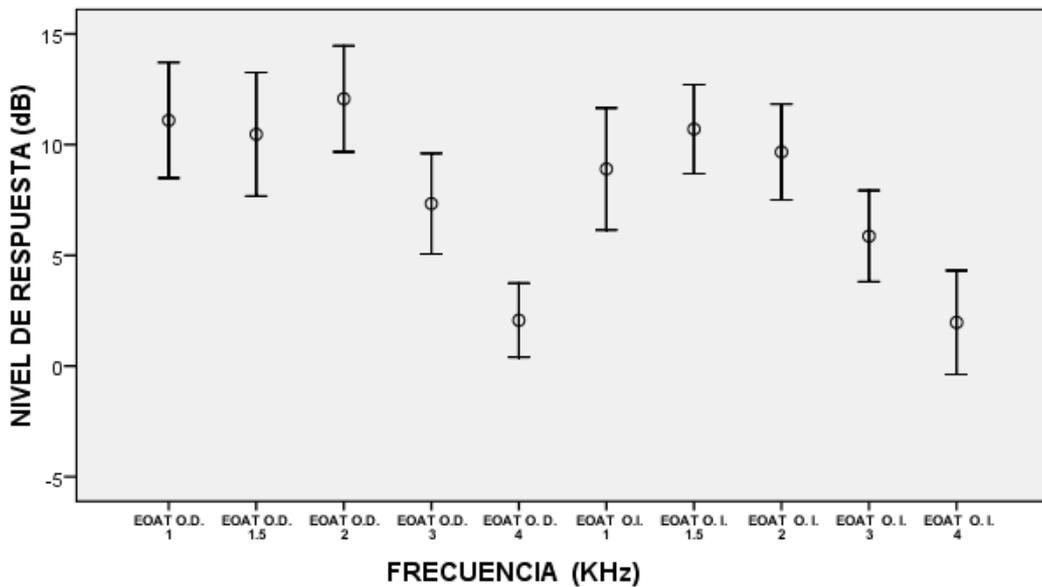
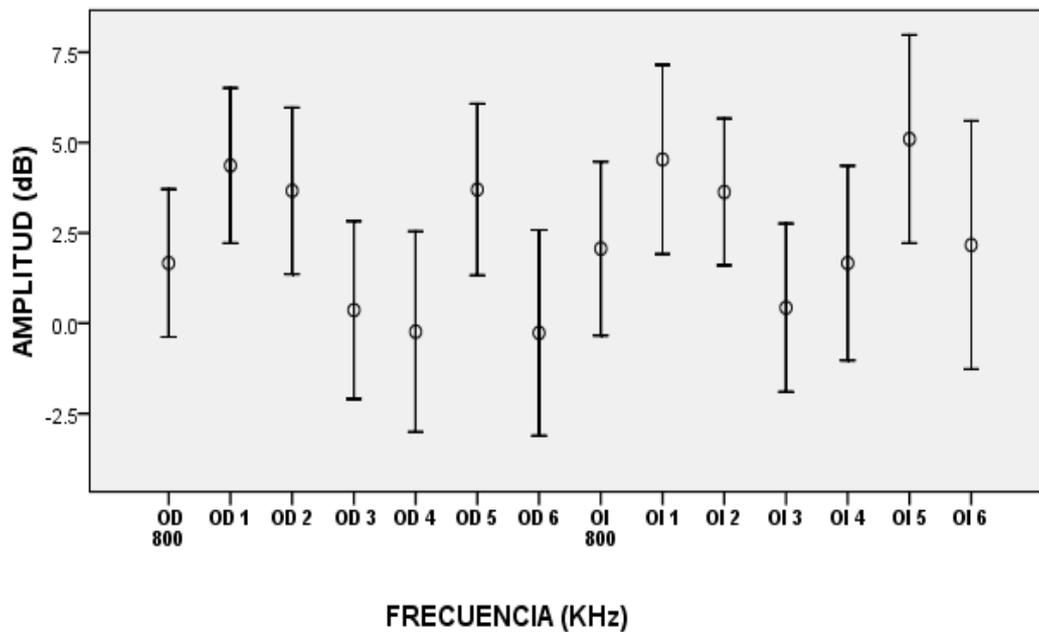


Gráfico que compara las amplitudes de las EOATs en ambos oídos reportados en dB observando un comportamiento similar que las expresadas en %.

La amplitud promedio en las EOAPD en oído derecho fue en 800 Hz de 1.66 dB SPL  $\pm$  5.47, 1 KHz de 4.36 dB SPL  $\pm$  5.75, 2 KHz 3.66 dB SPL  $\pm$  6.17, 3 KHz de 0.36 dB SPL  $\pm$  6.58, 4 KHz de -0.23 dB SPL  $\pm$  7.43, 5 KHz de 3.70 dB SPL  $\pm$  6.35 y 6 KHz de -0.26 dB SPL  $\pm$  7.62. En oído izquierdo el promedio en 800 Hz fue de 2.06 dB SPL  $\pm$  6.43, 1 KHz de 4.53 dB SPL  $\pm$  7.01, 2 KHz 3.63 dB SPL  $\pm$  5.44, 3 KHz de 0.43 dB SPL  $\pm$  6.23, 4 KHz de 1.66 dB SPL  $\pm$  7.20, 5 KHz de 5.10 dB SPL  $\pm$  7.72 y 6 KHz de 2.16 dB SPL  $\pm$  9.19. (Ver gráfica 6)

**GRAFICA 6. DISTRIBUCIÓN DE LAS AMPLITUDES DE EOAPD EN OIDO DERECHO E IZQUIERDO.**

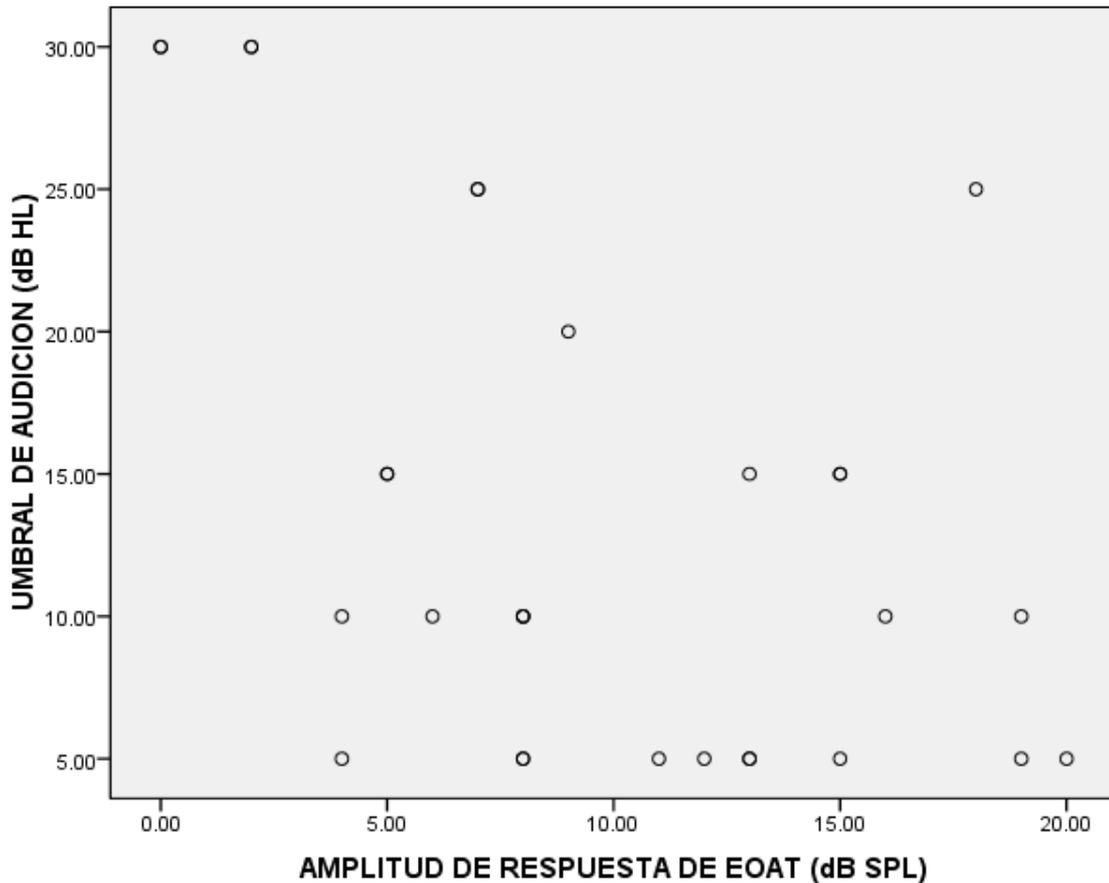


Se observa las amplitudes promedio de las EOAPD francamente disminuidas en ambos oídos.

Al realizar la prueba de “t de student” para ver si existían diferencias significativas entre ambos oídos para EOAT y con EOAPD, no se encontró ninguna, lo que quiere decir que ambos oídos se comportaron de forma muy similar.

Se analizó la correlación entre las EOAT y la audiometría en las frecuencias de 1, 2 y 4 KHz para ambos oídos, obteniendo sólo en oído izquierdo en la frecuencia de 2 KHz una  $r = -0.718$  ( $p < 0.05$ ), lo que indica una asociación moderada e inversamente proporcional; (Ver gráfica 7) en cambio una asociación baja en 4 KHz ( $r = -0.481$ ).

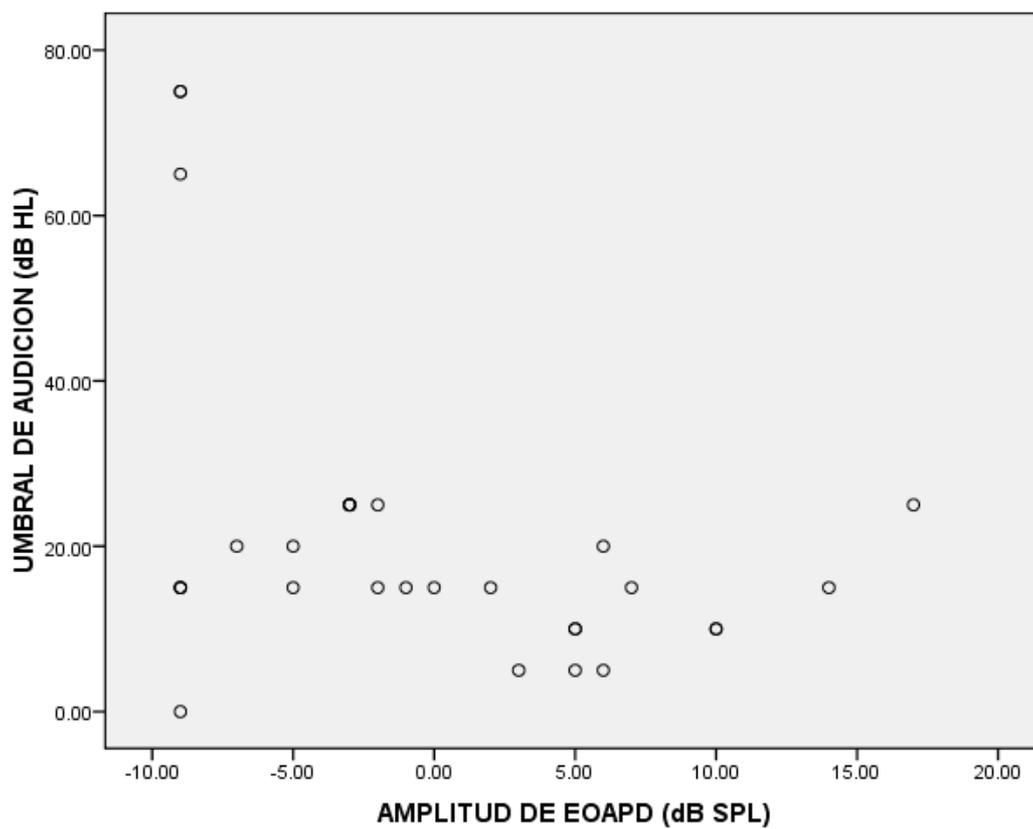
**GRÁFICA 7. RELACION ENTRE LAS EOAT Y LA AUDIOMETRIA EN LA EN OIDO IZQUIERDO EN 2 KHZ.**



Se aprecia la tendencia lineal entre las EOAT y la audiometría en la frecuencia de 2 KHz en el oído izquierdo.

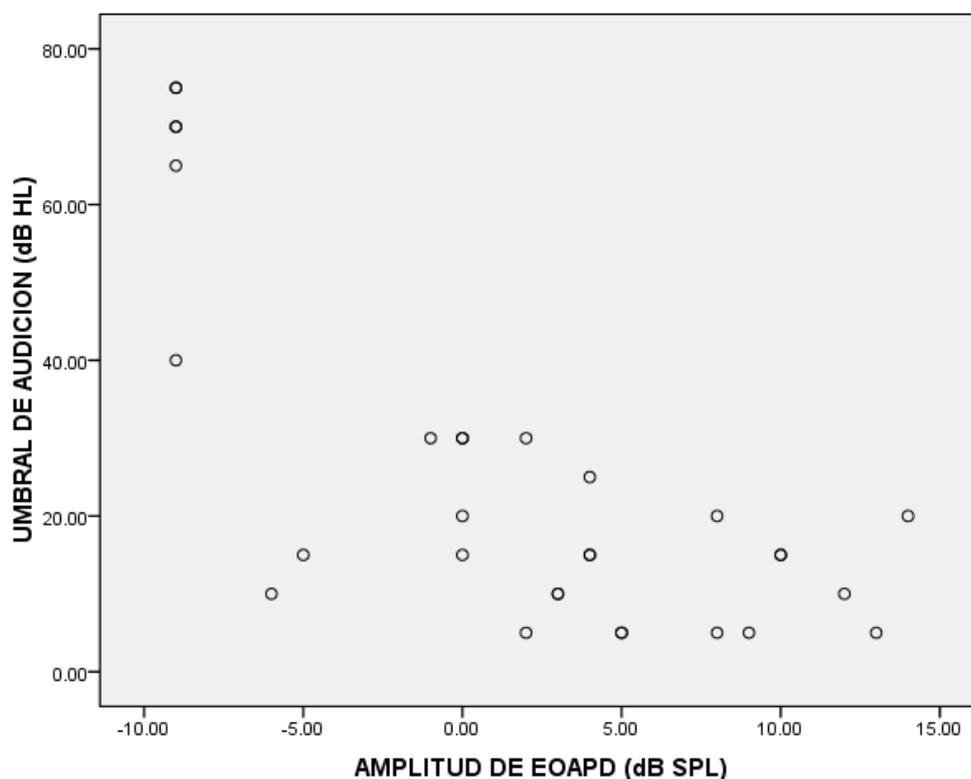
Cuando se analizaron las EOAPD y la audiometría en las frecuencias de 1, 2 y 4 KHz para ambos oídos; también se encontró una correlación estadísticamente significativa e inversamente proporcional, siendo baja en oído derecho para la frecuencia de 4 KHz por obtener  $r = -0.412$  (Ver gráfica 8). En cambio, en el oído izquierdo esta asociación fue baja en la frecuencia de 2 KHz ( $r = -0.493$ ), pero moderada en 4 KHz ( $r = -0.754$ ). (Ver gráfica 9).

**GRÁFICA 8. RELACION ENTRE LAS EOAPD Y LA AUDIOMETRIA EN OIDO DERECHO EN 4 KHz**



Se aprecia la tendencia lineal e inversamente proporcional entre la amplitud de las EOAPD y el umbral de audición.

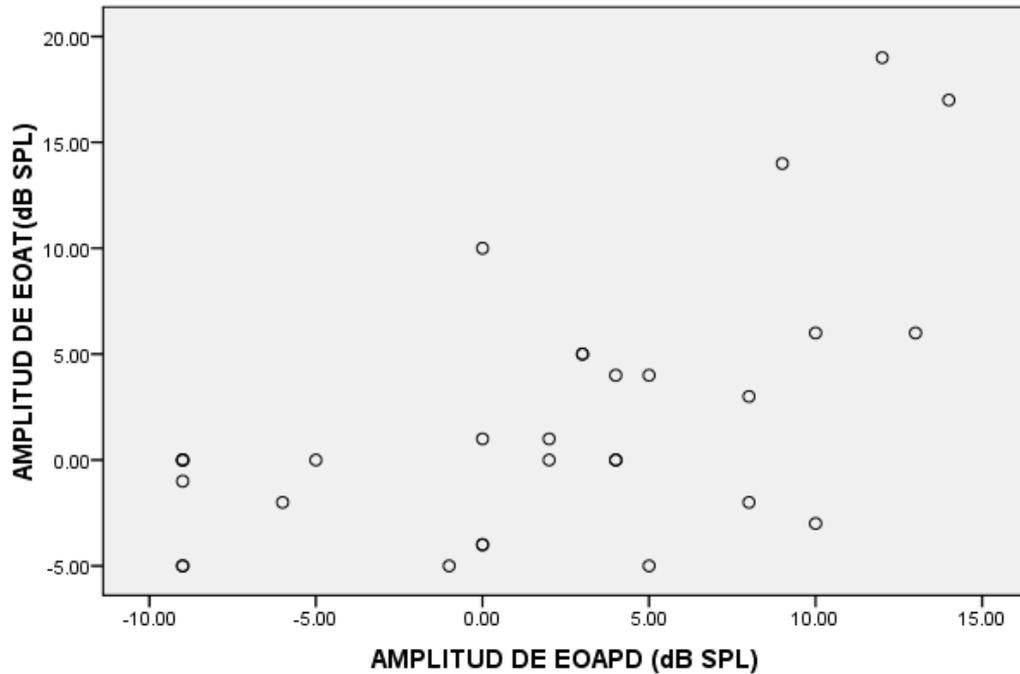
**GRÁFICA 9. RELACION ENTRE LAS EOAPD Y LA AUDIOMETRIA EN OIDO IZQUIERDO EN 4 KHz.**



Se observa la tendencia lineal entre la amplitud de las EOAPD y el umbral de audición, al aumentar una variable, la otra disminuye.

Al hacer la correlación entre las amplitudes de las EOAT y EOAPD en las frecuencias de 1, 2, 3 y 4 KHz en ambos oídos; se encontró una correlación baja en oído derecho ( $r = .471$ ) y en izquierdo ( $r = .378$ ), en la frecuencia de 1 KHz. En el resto de las frecuencias se encontró una relación moderada y directamente proporcional tanto en oído derecho como izquierdo respectivamente como se describen a continuación en 2 KHz ( $r = .654$ ), ( $r = .766$ ); 3 KHz ( $r = .612$ ), ( $r = .576$ ); y en 4 KHz ( $r = .665$ ), ( $r = .619$ ). (Ver gráfica 10)

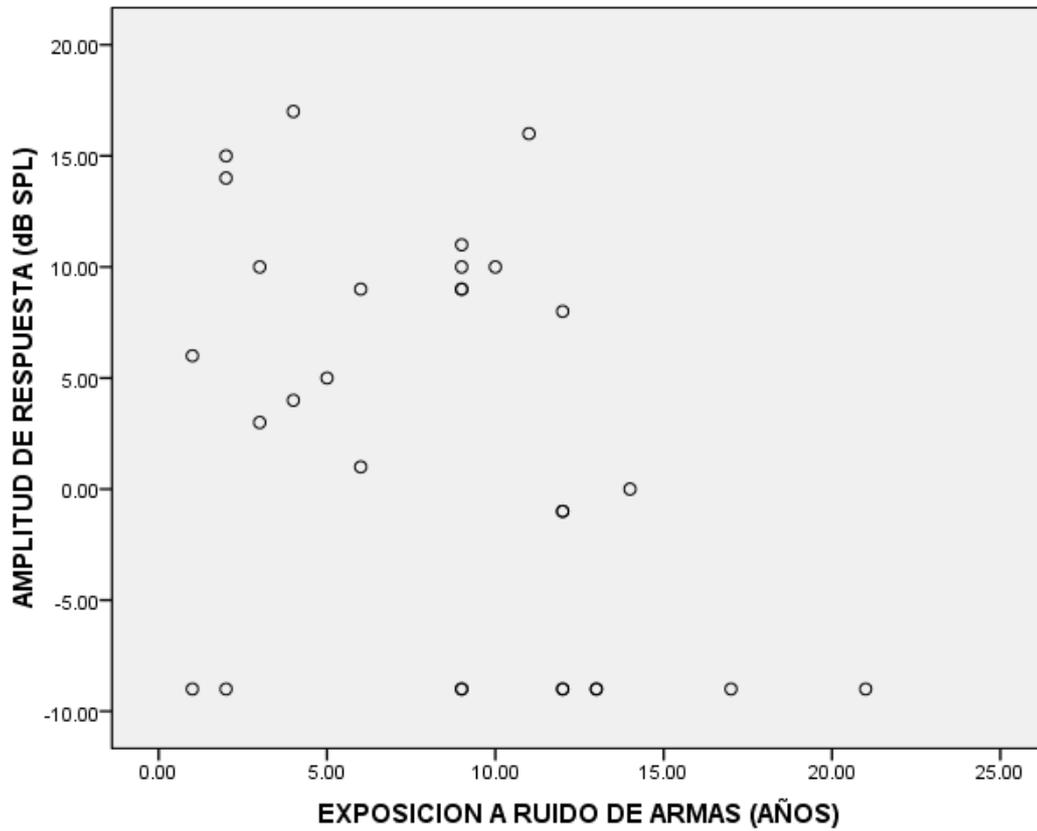
**GRÁFICA 10. RELACION DE LA AMPLITUD ENTRE EOAT Y EOAPD EN OIDO IZQUIERDO.**



Se observa una relación lineal directamente proporcional entre las EOAT y EOAPD, cuando una aumenta la otra disminuye.

Otro dato interesante es que al analizar la correlación entre los años de exposición a las armas de fuego y las EOAPD se encontró una  $r = -0.414$ , lo que significa que existe una asociación baja pero inversamente proporcional en oído izquierdo en la frecuencia de 6 KHz. (Ver gráfica 11)

**GRÁFICA 11. RELACION ENTRE AÑOS DE EXPOSICION A RUIDO POR ARMAS DE FUEGO Y EOAPD EN OIDO IZQUIERDO EN 6 KHz.**



Se muestra una asociación lineal inversamente proporcional entre las dos variables; entre mayor sea el tiempo de exposición al ruido por armas de fuego menor será la amplitud de las EOAPD.

#### IV. DISCUSIÓN

La pérdida auditiva inducida por ruido en el personal de infantería es frecuente debido a que están expuestos a altas intensidades de ruido de forma periódica; siendo en el caso de este estudio el de tipo impulsivo producido por los cañones sin retroceso los de mayor intensidad de detonación con 180 dB, y el grupo más frecuente el de fusiles con una intensidad de detonación de 150 dB.

A pesar de la existencia de datos sobre los niveles de presión sonora generados por las armas y equipos, y las estimaciones de la dosimetría de la exposición al ruido de cierto personal, llegar a una estimación de la exposición al ruido acumulado de cualquier miembro o grupos del servicio militar es casi imposible. El personal militar no es posible que experimente exposiciones homogéneas de ruido en el transcurso de su servicio. Incluso para el personal asignado a una especialidad ocupacional específica, es razonable suponer que las actividades típicas de una persona varía con el tiempo y que las actividades en un momento dado pueden variar entre el personal en las diferentes instalaciones militares. Además, los miembros de las fuerzas armadas suelen cambiar de tareas y pueden estar expuestos a diferentes grados de ruido en diferentes entornos de trabajos. (14) Esto justifica el problema que tuvimos en este estudio para cuantificar el tiempo de exposición y las detonaciones de las armas de fuego. Solo se pudo registrar el número de prácticas de tiro que el personal anualmente tiene que cubrir, siendo estas de 2 veces al año, durante un periodo de 5 días con una duración promedio de 5 horas, manteniéndose en la línea de tiro para hacer la detonación de aproximadamente 105 tiros en campo libre y permaneciendo cerca (5 metros aproximadamente) posterior a su turno de práctica, de la línea de tiro de sus compañeros, permaneciendo así durante todo el periodo de entrenamiento.

Un hallazgo importante durante el interrogatorio fue que la mayoría del personal de infantería utiliza protección auditiva de forma ocasional, debido a la falta de equipo de protección auditiva, el cual no es suministrado por la institución donde laboran, sino que el propio personal tiene que adquirirlos con

sus propios recursos, siendo lo más frecuente los tapones industriales. Hay que tomar en cuenta que estos tapones en general poseen un nivel de reducción de ruido entre 25 y 30 dB cuando se utilizan de manera adecuada y su ajuste es preciso. Además, cuando por cualquier motivo olvidan este tipo de protección recurren a la improvisación utilizando frecuentemente tapones de papel higiénico, algodón, ojivas, etc., quedando prácticamente desprotegidos durante las prácticas de tiro, y no se diga durante los enfrentamientos.

La exposición al ruido impulsivo puede resultar en un trauma acústico a partir de un número limitado de exposiciones (incluida una única exposición), como de la exposición de largos períodos (durante muchas semanas, meses o años). Estas exposiciones intensas pueden dar lugar a grandes lesiones cocleares. (14, 32, 33).

La pérdida auditiva inducida por ruido en relación con la edad de la pérdida de audición según la norma ISO-1999, indica que el ruido inducido por la pérdida de audición comienza casi asintomática alrededor de 10-20 años y hasta 40 años de la exposición.(14) En nuestro estudio pudimos observar que el promedio de edad de nuestra población no rebasa la tercer década de la vida y que el tiempo en años de exposición a ruido de armas es poco, encontrando que más del 50% de nuestra población no presenta algún grado de trauma acústico detectado por audiometría liminal y en los que sí se encontró algún tipo de daño, el trauma acústico grado 1 fue el más frecuente.

Se encontró que el oído más dañado es el izquierdo mediante audiometría tonal, como se reporta en la literatura (10,32), donde se menciona que en la posición normal de disparo de los tiradores diestros, el oído izquierdo se encuentra en ángulo de incidencia más favorable que el oído derecho, que queda parcialmente protegido por la sombra acústica de la cabeza, dando probablemente este efecto asimétrico. Por este motivo, habitualmente los tiradores tienen peor audición en el oído izquierdo. (32)

Por este motivo, es de utilidad la detección a través de EOA; ya que las emisiones otoacústicas poseen la característica de replicabilidad, es decir, tienen una tasa de variabilidad baja en condiciones ideales de evaluación, lo

que permite observar pequeños cambios de la funcionalidad coclear (27, 29, 32). Debido a lo anterior nos basamos en la comparación de promedios de cada frecuencia analizada para realizar el análisis clínico, tomando como parámetro una desviación estándar.

Encontramos que en el personal de infantería que se estudió presentó una disminución importante en las amplitudes de las EOA transientes y por productos de distorsión como se describe en otros trabajos (25, 27, 28,29, 30, 31).

De las frecuencias analizadas, las más afectadas correspondieron a 3 KHz en oído izquierdo y 3 y 4 KHz en ambos oídos en las EOATs, en cambio en las EOAPD la amplitud de las emisiones se observó francamente disminuida desde la frecuencia de 800 Hz a 6 KHz; lo que quiere decir que el daño coclear en ambos oídos se presentó de forma similar.

Esto se puede explicar por la característica tonotópica de la cóclea, localizándose la respuesta de las células ciliadas a estas frecuencias en la base de esta estructura, lugar próximo a la desembocadura directa del acueducto coclear; por lo tanto, se encuentran mucho más expuestas a cambios del medio. También es importante considerar que esta zona de la cóclea posee una irrigación pobre en comparación a otras regiones de ésta, lo que hace a esta zona aún más lábil.

Se pudo observar, además, diferencias en las variaciones de la amplitud de las EOA del oído derecho e izquierdo, siendo éstas de mayor magnitud en el oído izquierdo. Lo anterior debido, probablemente, a la asimetría que presenta el conducto auditivo externo, entre un oído y otro, al ángulo con el que ingresa la onda del sonido al conducto auditivo externo del tirador y la sombra acústica que protege al oído derecho cuando se es diestro al tirar.

Experiencias anteriores han demostrado un compromiso en la audición (umbrales audiométricos) para las frecuencias altas en personal del ejército sometidos a ruido impulsivo de las armas de fuego. Se ha descrito una disminución importante en la audición en las frecuencias altas. Es importante

considerar que las EOA son más sensibles a modificaciones de la cóclea respecto a los umbrales audiométricos de tonos puros. Esto significa que es posible evidenciar un compromiso precoz de las EOA, no así en los umbrales audiométricos. (32, 33).

En estudios donde se han monitorizado los efectos de la exposición a ruido usando EOATs se han reportado cambios significativos en la amplitud de la respuesta en el rango de 2 a 4 KHz, mientras que los cambios en el rango de frecuencia de 0.5 a 2 KHz no fueron significativos. (27) En otros estudios se reporta que la amplitud reducida de la respuesta de las EOAT después del disparo se encontró sobre todo para la frecuencia de 3, 4 para oído derecho y 1 y 2 KHz para el izquierdo (32). En este estudio se observó que en las EOAT existió mayor afectación en 3 KHz en oído izquierdo y en 3 y 4 KHz en ambos oídos.

Algunos estudios corroboran nuestros hallazgos, por ejemplo en un estudio las respuestas ausentes en el registro de las EOAPD fueron mayor para los trabajadores expuestos a ruido, considerándose los resultados en las frecuencias de 3, 4 y 6 KHz (23).

Las EOAPD son afectadas en frecuencias altas en los individuos expuestos a ruidos e identifican de manera temprana las alteraciones cocleares que preceden la instalación de pérdida auditiva inducida por ruido ocupacional (PAIRO) (23) y conforme el límite auditivo verificado por la audiometría aumenta, la amplitud de los Productos de Distorsión disminuye. Respecto a las EOAPD en este estudio encontramos una respuesta de intermodulación mala en frecuencias de 800 KHz, 4, 5 y 6 KHz en ambos oídos y regular en las frecuencias de 1, 2 y 3 KHz de manera bilateral.

Se comprueba que los Productos de Distorsión tienen la ventaja de ser específicos para diferentes frecuencias y muestran mayor sensibilidad en cuanto a que puedan ser producidos por cócleas con mayores grados de pérdida auditiva que las transitorias. Mientras que las EOATs no se registran con hipoacusias mayores de 30 dB, los Productos de Distorsión se detectan

incluso con pérdidas a 55 dB. La correlación del umbral tonal y EOAPD es negativa; la amplitud disminuye conforme incrementa el umbral. (30)

## **V. CONCLUSIONES**

Las Emisiones Otoacústicas ya sean Transientes o por Productos de Distorsión representan una herramienta objetiva y con alta sensibilidad; útil para la evaluación de la respuesta de las células pilosas externas ya que detectan de forma temprana cambios sutiles que pronostican un daño coclear especialmente cuando es producido por ruido.

Debido a que el personal militar está en constante contacto con diversos tipos de ruidos es recomendable obtener un audiograma así como un estudio de EOAT y EOAPD desde que el personal ingresa al servicio y de forma anual para establecer el nivel de audición y poder establecer en algún momento si existe o no daño coclear inducido por ruido.

También sería útil llevar un registro de los estudios antes mencionados antes de los entrenamientos básicos.

Como parte de la evaluación se deberá tener presente el monitoreo ya sea mediante algún tipo de cuestionario de fácil llenado para el personal de cualquier indicio de sintomatología otovestibular.

Se debe trabajar para lograr un uso más amplio y coherente de protección auditiva por el personal expuesto a este tipo de sonidos.

Se recomienda realizar otros estudios de seguimiento del personal expuesto al ruido por armas de fuego de nuestras fuerzas armadas para empezar a tener datos estadísticos confiables como se cuentan en otros países, ya que en México no se cuenta con ello; esto sentaría las bases para que las instituciones que forma personal militar tomara medidas de estratégicas para que en el futuro la discapacidad auditiva en su personal producida por daño inducido por ruido no produzca perdidas económicas millonarias.

## VI. ANEXOS

### ANEXO 1. CONSENTIMIENTO INFORMADO

---

SECRETARIA DE SALUD  
INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN  
SERVICIO DE AUDIOLOGIA

#### PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

***“DETECCIÓN DE DAÑO COCLEAR A TRAVÉS DE EMISIONES OTOACUSTICAS  
TRANSIENTES Y POR PRODUCTOS DE DISTORSIÓN EN PERSONAL DE  
INFANTERÍA DE MARINA DE LA ARMADA DE MEXICO EXPUESTOS A ARMAS  
DE FUEGO”***

#### CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

México D.F. a \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ del 2011.

Yo, \_\_\_\_\_ acepto participar en este estudio de investigación cuyo objetivo es detectar la pérdida auditiva inducida por ruido en infantes de marina de la Armada de México expuestos a uso continuo de armas de fuego.

Se me ha explicado que mi participación consistirá en responder unas preguntas sobre antecedentes médicos y laborales para integrar mi historia clínica. Así como la realización de pruebas audiológicas (Audiometría tonal liminar y de altas frecuencias, Logoaudiometría e Impedanciometría, Emisiones otoacústicas y por Productos de distorsión). También se me informo que dichos procedimientos no son invasivos, no causan efectos secundarios y no se administrarán medicamentos.

Entiendo que conservo el derecho de retirarme del estudio en cualquier momento sin que ello afecte la atención médica que he recibido o pueda llegar a recibir en este hospital.

He sido informado por el investigador y entiendo que los datos obtenidos en el estudio serán manejados de forma confidencial y sin revelar mi identidad en el material que derive de esta investigación.

He leído la información anterior y mis preguntas han sido respondidas de manera satisfactoria.

-----  
**Nombre y Firma del participante**

## ANEXO 2.

---

### HISTORIA CLINICA

#### FICHA DE IDENTIFICACION

Nombre: \_\_\_\_\_ Sexo: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_  
Grado Militar: \_\_\_\_\_  
Escolaridad: \_\_\_\_\_ Telefono: \_\_\_\_\_

#### ANTECEDENTES HEREDOFAMILIARES:

Hipoacusia \_\_\_\_\_  
Otros: \_\_\_\_\_

#### ANTECEDENTES PERSONALES NO PATOLOGICOS:

Tabaquismo: \_\_\_\_\_ Alcoholismo: \_\_\_\_\_ Drogas: \_\_\_\_\_  
Cirugías: \_\_\_\_\_ Alergicos: \_\_\_\_\_

#### ANTECEDENTES PERSONALES PATOLOGICOS:

Enfermedades de importancia: \_\_\_\_\_  
Infecciones de vías aéreas superiores por año: \_\_\_\_\_  
Cuadros de otitis media: \_\_\_\_\_  
Otorreas, otorragias: \_\_\_\_\_  
Exantematicas: \_\_\_\_\_  
Ototóxicos: \_\_\_\_\_

#### EXPOSICION A RUIDO

Tiempo de Servicio en la infantería de marina: \_\_\_\_\_  
Tiempo de Exposición a uso de armas de fuego: \_\_\_\_\_  
Años: \_\_\_\_\_ Meses: \_\_\_\_\_  
Horas al día: \_\_\_\_\_  
Uso de protección auditiva: sí \_\_\_\_\_ no \_\_\_\_\_  
Tipo de protección auditiva: \_\_\_\_\_  
Frecuencia y tiempo de uso de protección auditiva:  
Siempre: \_\_\_\_\_ Ocasional: \_\_\_\_\_ Nunca: \_\_\_\_\_  
Tiempo de uso de protección auditiva: \_\_\_\_\_

¿Se especializa en algún tipo de arma? SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_.

Cuál (es) \_\_\_\_\_

¿Está expuesto a otro tipo de generadores de ruido y con qué frecuencia?: No: \_\_\_\_\_

Sí: \_\_\_\_\_

#### EXPOSICION A CAMBIOS DE PRESIÓN:

NO \_\_\_\_\_ Sí: \_\_\_\_\_

¿Qué tipo y con qué frecuencia? \_\_\_\_\_

**SINTOMATOLOGIA OTOVESTIBULAR:**

- Hipoacusia: \_\_\_\_\_
- Algiacusia: : \_\_\_\_\_
- Plenitud ótica: \_\_\_\_\_
- Acúfeno : \_\_\_\_\_
- Vértigo: \_\_\_\_\_
- Mareo: \_\_\_\_\_
- Inestabilidad a la marcha: \_\_\_\_\_

**EXPLORACION FISICA**

Otoscopia: Normal: \_\_\_\_ . Anormal: \_\_\_\_\_

Rinoscopia: \_\_\_\_\_

Cavidad oral: \_\_\_\_\_

Articulación temporo-mandibular: \_\_\_\_\_

**ESTUDIOS AUDIOLOGICOS:**

Audiometría tonal liminar y de altas frecuencias:

	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>3000</b>	<b>4000</b>	<b>6000</b>	<b>8000</b>	<b>10000</b>	<b>12000</b>	<b>16000</b>
<b>dB</b>											
<b>O.DERECHO</b>											
<b>IZQUIERDO</b>											

Logaudiometría: Máxima Discriminación Fonémica :

OIDO DERECHO: \_\_\_\_\_

OIDO IZQUIERDO: \_\_\_\_\_

Timpanometria según Jerger:

Tipo: Oído derecho ( ) Oído izquierdo ( )

Reflejos Estapediales:

FRECUENCIAS (Hz)	OIDO DERECHO		OIDO IZQUIERDO	
	IPSILATERALES	CONTRALATERALES	IPSILATERALES	CONRALATERALES
500				
1000				
2000				
4000				

Prueba de Williams:

O. Derecho	O. Izquierdo

EMISIONES OTOACUSTICAS TRANSIENTES: (ver impresión)

EMISIONES OTOACUSTICAS POR PRODUCTOS DE DISTORSION: (ver impresión)

## VII. BIBLIOGRAFIA

1. Daniel E. Noise and Hearing Loss: A Review. J Sch Health. 2007; 77(5): 225-231.
2. Rabinowitz P. Noise-Induced Hearing Loss. Am Fam Physician. 2006; 61(9): 2749-2756.
3. Sliwinska-Kowalska M, Kotylo P. Evaluation of individuals with known or suspected noise damage to hearing. Audiological Medicine.2007;5:54-65.
4. Hernández Sánchez H, Gutiérrez Carrera M Hipoacusia inducida por ruido: estado actual. Rev Cubana Med Milit 2006;35 (4): 90-96
5. Kopke RD. Jackson RL. Coleman JK. Liu J. et al. Noise protection with N-acetyl-l-cysteine (NAC) using a variety of noise exposures, NAC doses, and routes of administration. Acta Oto-Laryngologica. 127(9):914-9, 2007 Sep.
6. Nelson DI. Nelson RY. Concha-Barrientos M. Fingerhut M. The global burden of occupational noise-induced hearing loss. American Journal of Industrial Medicine. 48(6):446-58, 2005 Dec.
7. Lorea-González M, Salinas-Tovar S, Aguilar-Madrid G, Borja-Aburto V. Hipoacusia por trauma acústico crónico en trabajadores afiliados al IMSS, 1992-2002. Rev Med Inst Mex Seguro Soc. 2006; 44 (6):497-504.
8. Salazar, A Fajardo L, Vera C , García M , Solís F, Comparación de EOAPD en individuos expuestos y no expuestos a ruido ocupacional. Asociación chilena de Seguridad Académica Escuela de Salud Publica Universidad de Chile./Ciencia de trabajo 2003 5 (0) 24-32
9. Médicis da Silveira J, A, Brandão A, De Rossi J, Ferreira L, Name M A M ,Estefan P, Gonçalez F Evaluación de la alteración auditiva provocada

- por el uso de walkman por medio de audiometría tonal y AOAPD en 40 oídos. Revista Brasileña de Otorrinolaringología 2001; 7 (5) 650-654.
10. Relanzón López, J. M. Tesis Doctoral "Validez de los test predictivos de la fatiga auditiva en la prevención del trauma acústico". Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid, 1992.
  11. De Sebastián G, Badaracco J, Postan D. Audiología Práctica 5ta Edición, Ed Panamericana. 1999. 46-51, 114-126
  12. Occupational Safety and Health Administration. Regulations (Standards -29 CFR) Occupational Noise Exposure. Disponible en: [http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_id=9735&p\\_table=STA/](http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_id=9735&p_table=STA/)
  13. National Institute for Occupational Safety and Health. Criteria for a Recommended Standard: Occupational Noise Exposure. NIOSH Publication No. 98-126. Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/98-126/chap1.html>
  14. Larry E. Humes, Lois M. Joellenbeck, and Jane S. Durch. Noise and Military Service: Implications for Hearing Loss and Tinnitus/ Committee on Noise-Induced Hearing Loss and Tinnitus Associated with Military Service from World War II to the Present. National Academy of Sciences , USA, 2006.
  15. Poblano A. Temas Básicos de Audiología. Ed. Trillas. México, 2003, 235-255.
  16. Pykko I, Toppila E, Zou J, Kentala E. Individual susceptibility to noise-induced hearing loss. Audiological medicine. 2007; 5: 41-53.
  17. Uribe Escamilla R, Durand Rivera J.A. Bases técnicas y fisiológicas de las emisiones otoacústicas transitorias. An ORL Mex Vol 50, No 4, 2005.
  18. Robinette M,S; Glatke T, J. Otoacoustic emissions Clinical Applications New York Thieme, 1997 63-109, 151-202.

19. Hernández O F, Flores R T, Peñaloza L Y. Registros electrofisiológicos para el diagnóstico de la patología de la comunicación humana, Instituto Nacional de la Comunicación Humana, Secretaría de Salud, México DF, 1997 , pp 301
20. Salesa E, Perelló E, Bonavida A. Tratado de Audiología. Ed. Masson. España, 2005. 211-227
21. Dwdevany A, Furst M. The effect of longitudinal noise exposure on behavioral audiograms and transient-evoked otoacoustic emissions. *Int J Audiol.* 2007; 46: 119-127.
22. Nottet J, Moulin A, Brossard N, Suc B, Job A. Otoacoustic Emissions and Persistent Tinnitus after Acute Acoustic Trauma. *Laryngoscope.* 2006; 116:970-975.
23. Prudente Márquez, F. Andrade da Costa. Exposición ocupacional a ruido, Alteración en las emisiones otoacusticas: *Rev bras Otorrinolaringología* 2006, 72 (3) 362-366.
24. Suárez H. Velluti R. A. La Cóclea, Fisiología y Patología. Ediciones Trilce, 2001.
25. McBride DI, Williams S. Audiometric notch as a sign of noise induced hearing loss. *Occup Environ Med* 2001; 58 (1): 46-51.
26. Lehnhardt Ernst. Práctica de la Audiometría, editorial Panamericana. Argentina 1992.
27. M. A. Hotz, R. Probst, F. P. Harris and R. Hauser . Monitoring the Effects of Noise Exposure using Transiently Evoked Otoacoustic Emissions, *Acta Oto- laryngological.* 1993, Vol. 113, No. 3, Pages 478-482.
28. Bockstael A., Keppler H., Dhooge I., D'haenens W., Maes L., Philips B. and Vinck B. Effectiveness of hearing protector devices in impulse noise verified with transiently evoked and distortion product otoacoustic

- emissions. *International Journal of Audiology*. 2008, Vol. 47, No. 3, Pages 119-133.
29. Borka Ćeranić. The value of otoacoustic emissions in the investigation of noise damage. *Audiological Medicine*. 2007, Vol. 5, No. 1, Pages 10-24.
30. Balatsouras D.G., Tsimpiris N., Korres S., Karapantzos I., Papadimitriou N. and Danielidis V. The effect of impulse noise on distortion product otoacoustic emissions. *International Journal of Audiology*. 2005, Vol. 44, No. 9, Pages 540-549.
31. Prasher D.; Desai A.; Reed D.; Cheyne A.; Richards S. Absence of otoacoustic emissions in subjects with normal audiometric thresholds implies exposure to noise. *Noise and Health*, Volume 1, Number 2, Jan - Mar 1999 , pp. 58-65(8).
32. Konopka W, Pietkiewicz P, Zalewski P. Otoacoustic emission examinations in soldiers before and after shooting. *Otolaryngol Pol.* 2000;54 (6):745-9.
33. Attias J, Horovitz G, El-Hatib N, Nageris B. Detection and clinical diagnosis of noise-induced hearing loss by otoacoustic emissions. *Noise Health* 2001; 3:19-31.