

INFORME DE INVESTIGACIÓN P0071

**Atenuación de protectores auditivos del tipo tapón
bajo la metodología F-MIRE, y su relación con
trabajadores expuestos a ruido.**

Investigadores

Sr. Felipe Chinchón Lavanderos
Sra. Paulina Rodoni Iribarnegaray

Julio de 2011 a Julio de 2013

Este proyecto fue realizado con el financiamiento de la Asociación Chilena de Seguridad, a través de la Fundación Científica y Tecnológica, FUCYT.

Índice

Resumen	3
1. Antecedentes generales	4
Metodología REAT V/S F-MIRE	5
Pruebas de ajuste de tapones con Sistema Ear Fit Validation	6
2. Objetivos e hipótesis	7
3. Metodología	7
4. Resultados	8
Evaluaciones de Terreno	8
Trabajadores con umbral de audición alterado versus nivel protegido	14
Análisis de regresión: Variación vs. Nivel Protegido (dB(A))	16
5. Conclusiones	17
6. Discusión Final	19
7. Bibliografía	20
8. Anexos	21

Resumen.

Diversos estudios han establecido una relación entre pérdida auditiva y edad de los trabajadores, susceptibilidad individual, no uso del protector auditivo, entre otros. El presente estudio buscó determinar si la mala colocación de un protector auditivo del tipo tapón también podía afectar el nivel de audición de trabajadores expuestos a ruido. Para estos efectos se analizaron 4 empresas con 465 trabajadores expuestos a altos niveles de presión sonora, quienes utilizan protectores auditivos del tipo tapón, entre los cuales 17 presentaban pérdidas auditivas.

Utilizando la metodología F-MIRE aplicada con el equipo Ear Fit Validation Sistem se comprobó que el 29,2% de los trabajadores evaluados, bajo condiciones de terreno, estaba expuesto a 85 o más dB(A) con los protectores auditivos puestos. La principal causa de este problema se debió a la mala colocación del tapón, ya que, después de ser capacitados, este porcentaje de trabajadores disminuyó a un 4,3%. Si bien es cierto no se pudo comprobar una regresión directa entre el grado de sordera de los trabajadores y el nivel de atenuación real entregado por el protector, sí se verificó como tendencia que a menor grado de atenuación real que entregaba el protector auditivo, mayor era el grado de sordera.

|

1. Antecedentes generales:

En Chile, el 80% de las incapacidades permanentes por enfermedades profesionales ocurre por exposición al ruido. A modo de ejemplo, se puede señalar que el año 2009, expertos en prevención de riesgos de la Asociación Chilena de Seguridad (ACHS) realizaron evaluaciones de ruido en 1.256 empresas afiliadas, que permitieron detectar 35.515 trabajadores expuestos al riesgo de contraer sordera profesional [1]. Estos trabajadores pasaron a formar parte de los más de 95.000 trabajadores que se encuentran insertos dentro del Programa de Vigilancia Médica que posee la institución, asociados a este agente de riesgo [2].

Una situación que han podido detectar los profesionales de la ACHS a lo largo del tiempo es que, a pesar de que los expertos en prevención realizan evaluaciones de ruido adecuadas y entregan recomendaciones de protección auditiva de acuerdo a la normativa nacional vigente, y, por otro lado, que las empresas compran e implementan los elementos de protección auditiva sugeridos, se ha detectado que trabajadores supuestamente protegidos con elementos de protección adecuados como orejeras o tapones, presentan daño auditivo o han visto aumentar su pérdida auditiva. En este sentido, cabe señalar que el año 2009, 4.422 trabajadores que estaban en el programa de vigilancia médica por ruido [3], presentaron una alteración en su umbral auditivo o bien aumentaron su porcentaje de pérdida auditiva, de los cuales 215 casos, es decir, el 4,86%, fueron finalmente notificados como enfermos profesionales. La gran cantidad de trabajadores que están dentro del Programa de Vigilancia Médica por ruido, además de aquellos que han presentado alguna alteración, sumado al número de enfermos profesionales, hace que este tema sea de suma relevancia tanto desde el punto de vista preventivo como médico, sobre todo si se considera que probablemente una parte de los 4.422 trabajadores que vieron alterada su audición, efectivamente estaban utilizando protectores auditivos.

Diversos estudios han establecido una relación entre la pérdida auditiva y la edad de los trabajadores [4], la susceptibilidad individual, el no uso del elemento de protección auditiva, incluso la exposición combinada a ruido y solventes [5], entre otros. Sin embargo, estudios recientes han agregado un nuevo factor, el cual se relaciona con la atenuación real que entrega un protector auditivo bajo condiciones de uso habituales [6], [7], [8], [9], [10], [11]. En este sentido, cabe mencionar que la atenuación que aparece rotulada en los envases de los protectores auditivos ha sido calculada siguiendo estándares internacionales [12], [13], [14], que consideran ensayos bajo condiciones de laboratorio, los cuales distan de las condiciones reales de uso, y por tanto, dichas atenuaciones obtenidas también difieren de la atenuación que entrega realmente el elemento de protección auditiva en terreno. Es así que para el caso de los tapones (tipo de protección auditiva más vendido en Chile), la buena colocación resulta fundamental para obtener una buena atenuación; una mala colocación implicará una menor atenuación, situación que podría poner en riesgo la audición del trabajador, a pesar de que este esté utilizando un protector adecuado.

Esta situación plantea el desafío de determinar si la atenuación del ruido que reciben los trabajadores que utilizan protectores auditivos del tipo tapón, bajo condiciones normales de trabajo, es menor a la indicada por el fabricante, y si esto se debe principalmente a una mala colocación por parte del usuario o a que el tapón usado

por el trabajador no resulta adecuado para su canal auditivo. A su vez, se busca determinar el efecto de la capacitación en la buena colocación del elemento protector, y en la generación de algún cambio conductual en los trabajadores que les permita mantener en el tiempo una buena colocación de sus tapones.

Metodología REAT V/S F-MIRE

Todos los protectores auditivos que se comercializan hoy en el país cuentan con curvas de atenuación que sirven para informar al usuario respecto de las características particulares de desempeño acústico que presenta cada uno de estos elementos de protección personal. Estas han sido obtenidas bajo normas internacionales como por ejemplo la norma ISO 4869, la europea EN 352, o la americana ANSI S3.19-1974, por nombrar las de mayor uso a nivel mundial, o a partir de derivaciones de éstas, como es el caso del grupo de normas chilenas NCh1331 [15], [16]. Las normativas que permiten obtener las atenuaciones de los protectores auditivos, que posteriormente aparecen rotuladas en los empaques, presentan diferencias metodológicas entre sí, sin embargo, a grandes rasgos, también cuentan con similitudes, por ejemplo, todas ellas usan la metodología REAT (Real Ear Attenuation at Threshold o Atenuación en el Umbral de Audición del Oído Real) para obtener las atenuaciones.

La metodología REAT contempla sujetos de ensayo a los cuales primero se les mide el umbral de audición con los oídos descubiertos, en una sala acondicionada específicamente para la prueba; posteriormente, se les coloca el protector auditivo a evaluar y se repite la prueba de umbral con tal de determinar la atenuación obtenida o Pérdida por Inserción, que, en este caso, es de carácter subjetivo, medida por la diferencia en los niveles de umbral de audición en un punto en el espacio con y sin el protector puesto. Esta prueba se repite a un determinado número de sujetos con tal de obtener una desviación estándar y así contar con información representativa de la atenuación del protector auditivo.

El problema de esta metodología radica en que los ensayos son realizados en condiciones de laboratorio ideales, y con sujetos que en algunos casos cuentan con entrenamiento sobre cómo colocarse los protectores auditivos, situaciones que distan bastante de las condiciones de uso en terreno, por tanto, a veces no son representativas de las condiciones de uso habitual por parte del trabajador.

Por otro lado, la metodología F-MIRE (Field – Microphone in Real Ear o Medición de Terreno con Micrófono en Oído Real) consiste en la obtención de atenuaciones a partir de mediciones simultáneas de ruido que se hacen fuera y dentro del oído con el protector auditivo puesto, para así determinar finalmente la Reducción de Ruido del protector [17]. En este caso la prueba de terreno consiste en la generación de un ruido conocido, el cual asegura la “*repetibilidad*” de la prueba a lo largo del tiempo, combinado con un micrófono que mide simultáneamente el nivel de ruido dentro y fuera del oído del usuario. A diferencia del método REAT, los resultados obtenidos son objetivos, ya que no es el sujeto quién debe señalar cuando escucha o no las señales de prueba, sino que es la diferencia numérica real de ruido que hay entre el nivel fuera y dentro del oído con el protector puesto, situación que permite disminuir el margen de error de este tipo de pruebas, siendo sus resultados más representativos de las situaciones reales de uso.

Pruebas de ajuste de tapones con Sistema Ear Fit Validation

El equipo Ear Fit Validation System funciona con la metodología F-MIRE, y consiste en un parlante que genera un ruido similar al ruido rosa, un micrófono de doble entrada que permite medir al mismo tiempo el nivel de ruido que hay dentro y fuera del oído del sujeto evaluado con el protector auditivo puesto, tapones especiales con un orificio que los atraviesa, más una sonda que permite conectar el micrófono que medirá el nivel de ruido al interior del oído y un software que procesa la información obtenida. El sistema cuenta con varios modelos de tapones con sonda, los cuales poseen las mismas características que los tapones comunes que usan los trabajadores (forma, material, largo), y el conjunto del tapón más el agujero y sonda ha sido diseñado de manera que la cadena electroacústica sea similar a la de un tapón que no ha sido intervenido. Esta versatilidad permite además probar diferentes modelos de tapones a objeto de definir cuál es el protector auditivo más adecuado a la forma del conducto auditivo de cada persona.

La prueba de ajuste de tapones comienza cuando el trabajador se sienta frente al parlante que generará el ruido de prueba, a una distancia cercana a los 20 cm. Luego, se coloca los tapones con sonda tal como se coloca habitualmente sus protectores auditivos, posteriormente, la persona encargada de la evaluación conecta el micrófono a la sonda del tapón de uno de los oídos y selecciona en el software el tipo de protector auditivo tipo tapón que será evaluado. A continuación, el sistema genera un ruido de prueba que permite verificar la calibración del equipo y posteriormente procede a generar el ruido estandarizado el cual dura 8 segundos. El micrófono de doble entrada mide durante estos 8 segundos, en bandas de octavas, los niveles de ruido, tanto fuera como dentro del oído y entrega un valor de atenuación para ese oído. Luego, se repite la evaluación para el otro oído y se obtiene la atenuación de ese segundo oído. Finalmente, el sistema entrega un valor general bi-aural, el cual considera como resultado global el peor de los resultados obtenido entre los dos oídos evaluados, resultado que se le llama PAR (Personal Attenuation Rating) o Nivel de Atenuación Personal, el cual además considera una desviación estándar propia del tapón. Este valor PAR se resta al nivel de ruido al cual está expuesto el trabajador en terreno, el cual ha sido previamente evaluado, con tal de verificar cuanto es el nivel de ruido real que está llegando al interior de los oídos del trabajador con los protectores auditivos puestos.

Este resultado final es único y propio de cada trabajador, lo cual permite determinar de manera mucho más precisa si el tapón que utiliza la persona evaluada entrega la suficiente protección respecto del nivel de ruido al cual está expuesto el sujeto. En este sentido, y a diferencia de las atenuaciones obtenidas en laboratorio, este resultado entrega la atenuación real personalizada por cada trabajador evaluado la que se compara con el nivel de ruido específico al cual está expuesto el trabajador, haciendo que el resultado final sea mucho más representativo de las condiciones reales de uso.

Para un mayor detalle sobre el funcionamiento del sistema, el lector puede revisar la publicación "Development and validation of a field microphone-in-real ear approach for measuring hearing protector attenuation" [18].

2. Objetivos de la investigación e hipótesis

La hipótesis planteada en este trabajo es que la atenuación del ruido que proporcionan los protectores auditivos del tipo tapón, bajo condiciones normales de trabajo, es menor a la indicada por el fabricante, debido principalmente a una mala colocación por parte del usuario, situación que podría explicar la variación en los umbrales auditivos de trabajadores que se encuentran expuestos a ruido, y que usan este tipo de elemento de protección personal.

El objetivo general del trabajo consiste en determinar cuantitativamente si es que los protectores auditivos del tipo tapón que son utilizados por trabajadores expuestos a ruido, bajo condiciones de terreno, entregan una atenuación inferior a la establecida por el fabricante, debido principalmente a una mala colocación por parte del usuario, y establecer si esta situación se relaciona con la pérdida auditiva permanente registrada por algunos trabajadores.

A partir de este objetivo se establecieron tres objetivos específicos:

- 1) Cuantificar la diferencia entre la atenuación real que entregan los protectores auditivos del tipo tapón, bajo condiciones habituales de postura por parte de los trabajadores, y la atenuación que trae rotulada, de acuerdo a la normativa internacional respectiva.
- 2) Efectuar una intervención de tipo educativa en aquellos trabajadores que presentan una baja atenuación en el uso de su elemento de protección auditiva, y cuantificar la mejora en su colocación post intervención.
- 3) Determinar si la atenuación real obtenida en terreno, combinada con el nivel de presión sonora evaluado, que determina el nivel de ruido en el oído del trabajador con el protector auditivo puesto, se relaciona con las alteraciones auditivas que presentan trabajadores con daño auditivo.

3. Metodología:

En esta investigación se realizaron los siguientes tipos de estudio:

Para el objetivo 1, se utilizó un estudio descriptivo que permitiese medir la diferencia del nivel de atenuación entre condiciones de laboratorio y condiciones reales de uso.

Para el objetivo 2, se efectuó un estudio cuasi-experimental de intervención preventiva primaria en el que se evaluó el efecto de la educación en individuos que presentaron bajos niveles de atenuación al momento de colocarse el elemento de protección auditiva. Para este caso se utilizó como variable resultado la mejora en el nivel de atenuación obtenido post intervención.

Para el objetivo 3, se realizó un estudio de regresión entre el nivel de ruido que ingresa al oído del trabajador, con el protector auditivo puesto atenuación (Nivel Protegido) y las alteraciones auditivas de trabajadores que presentan daño.

Para la realización de este estudio se seleccionaron 4 empresas afiliadas a la ACHS, dos metalmecánicas, una viña y una manufacturera de papel, las cuales contaban con trabajadores expuestos a ruido, algunos de los cuales presentaban pérdidas en sus umbrales de audición en los últimos dos años. Estos trabajadores fueron identificados a partir de audiometrías realizadas del Programa de Vigilancia Médica de la ACHS. Otra característica de las empresas seleccionadas fue que ellas protegían a sus trabajadores con protectores auditivos del tipo tapón tanto desechable como reutilizable.

El procedimiento de evaluación desarrollado fue el siguiente:

- 1) Con un sonómetro y audio dosímetros se midieron los niveles de presión sonora a los cuales estaban expuestos los trabajadores, y se obtuvo información relacionada con los espectros de frecuencias.
- 2) Se verificó que los tapones utilizados por los trabajadores eran los que técnicamente correspondían según lo establecido en la norma NCh1331/6 [19].
- 3) Se seleccionaron a los trabajadores a ser evaluados, tomando como criterio todos aquellos que resultaron estar expuestos a niveles iguales o superiores a 80 dB(A).
- 4) Entre el grupo de trabajadores seleccionado se identificaron aquellos que presentaban cambios en su umbral auditivo determinado a través de audiometrías y se les caracterizó de acuerdo a una encuesta.
- 5) Con el sistema EAR Fit Validation se efectuó una evaluación inicial de ajuste de tapones para contar con una línea de base [20], [21].
- 6) Se seleccionaron a aquellos trabajadores que no pasaron la prueba (nivel de ruido al interior del oído igual o superior a 82 dB(A) con el protector puesto) y se les capacitó sobre la adecuada colocación del mismo.
- 7) Inmediatamente después de la capacitación se repitieron las evaluaciones de ajuste de tapones con tal de detectar las mejoras de atenuación respectivas y se registraron los resultados.
- 8) Después de 2 a 3 meses se repitió nuevamente la medición de buena colocación de los tapones a todos los trabajadores y se capacitó nuevamente a aquellos que presentaron una baja atenuación del tapón.

4. Resultados:

Evaluaciones de Terreno

Después de realizar las evaluaciones de ruido en las cuatro empresas se identificaron y fueron seleccionados 465 trabajadores que estaban expuestos a 80 dB(A) o más en sus puestos de trabajo. Adicionalmente, al utilizar las metodologías de selección de

protección auditiva establecidas en la norma chilena NCh1331/6, se comprobó que en las cuatro empresas seleccionadas el protector auditivo utilizado era el adecuado, los cuales, en este caso correspondía al tapón desechable 3M modelo 1100 y al tapón E-A-R reutilizable, modelo Ultrafit.

Cabe hacer notar que para el caso de los tapones 1100 la atenuación SNR entregada corresponde a 31 (dB), mientras que para el caso de los tapones Ultrafit la atenuación SNR corresponde a 32 (dB).

En general, los niveles de exposición a ruido fueron los siguientes:

Mediciones de Ruido Exposiciones en dB(A)			
Exposición en dB (A)	Trabajadores Expuestos		
	Cantidad	%	% Acumulado
80 y 81,9	24	5,2%	5,2%
82 y 84,9	37	8,0%	13,2%
85 y 89,9	104	22,4%	35,6%
90 y 94,9	162	34,8%	70,4%
95 y 99,9	117	25,1%	95,5%
100 o más	21	4,5%	100,0%
Total	465	100,0%	

Tabla N° 1

Ya que uno de los objetivos del estudio era verificar si es que había una relación entre los niveles de atenuación que entregaban los protectores auditivos y las variaciones en el umbral de audición de los trabajadores que presentaban alguna alteración auditiva, entre los 465 trabajadores evaluados inicialmente se identificaron y seleccionaron 17 trabajadores que presentaban alteraciones auditivas y que estaban incluidos en el Programa de Vigilancia Médica de la ACHS. El análisis particular de estos casos se encuentra al final del punto 7.

Dado que se contaba con los niveles de ruido a los cuales estaba expuesto cada trabajador, se procedió a efectuar las pruebas de ajuste de tapones con el sistema EarFit (Figuras N° 1 y N°2), y se realizaron dos tipos de análisis: el primero midió la

cantidad de ruido que estaba ingresando al interior de los oídos de los trabajadores, con los tapones auditivos puestos, y el segundo analizó la atenuación real (reducción de ruido o valor PAR) que logró cada trabajador. Los resultados obtenidos en esta primera evaluación se pueden apreciar en las Tablas N° 2 y N° 3



Figura N° 1



Figura N° 2

	N° Total trabajadores Evaluados	N° de Trabajadores que reciben los niveles de presión sonora indicados con los protectores auditivos puestos	
		82 dB o más	85 dB o más
Empresa 1	211	102	76
Empresa 2	102	36	22
Empresa 3	105	39	29
Empresa 4	47	11	9
Total	465	188	136
%	100,0%	40,4%	29,2%

Tabla N° 2

Atenuaciones Personales Obtenidas (PAR)	N° Trabajadores	%
Trabajadores con atenuaciones iguales o menores a 5 dB(A)	104	22,4%
Trabajadores con atenuaciones entre 5,1 y 10 dB(A)	12	2,6%
Trabajadores con atenuaciones entre 10,1 y 15 dB(A)	17	3,6%
Trabajadores con atenuaciones entre 15,1 y 24 dB(A)	332	71,4%
Trabajadores con atenuaciones entre 24,1 y 30,9 dB(A)	0	0,0%
Trabajadores con atenuaciones iguales o superiores a 31 dB(A)	0	0,0%
Total	465	100,0%

Nota: Se consideró un corte en las atenuaciones iguales o superiores a 31 dB(A) dado que los valores SNR de los protectores auditivos del tipo tapón son 31 y 32 dB respectivamente.

Tabla N° 3

El Instituto de Salud Pública de Chile, a través del Protocolo de Exposición Ocupacional a Ruido, PREXOR [22], definió como Criterio de Acción aquél donde el trabajador está expuesto a 82 dB(A) o más, situación que implica que la empresa debe tomar acciones tendientes a evitar que los trabajadores expuestos a este nivel o más contraigan sordera profesional. Para efectos del presente estudio se utilizó este Criterio de Acción para definir quién había pasado la prueba de ajuste de tapones y quién no la había pasado. A partir de los resultados mostrados en la Tabla N° 2, se determinó que 188 trabajadores no habían pasado la prueba, ya que a sus oídos estaban ingresando 82 dB(A) o más con los protectores auditivos puestos.

Para continuar con la segunda etapa, se seleccionaron a estos 188 trabajadores, los cuales recibieron posteriormente una capacitación sobre la correcta colocación del elemento de protección auditiva e inmediatamente después se les re-evaluó con el Sistema Ear Fit. Lamentablemente, y por diversos motivos como rotación del personal, desvinculaciones, personal que tomó vacaciones mientras se realizaban las pruebas, entre otros, solamente pudieron finalizar exitosamente la segunda y tercera etapas 138 trabajadores, los cuales fueron finalmente considerados como número efectivo de trabajadores con los cuales se terminó el estudio.

En la Tabla N°4 se muestran los resultados obtenidos por estos 138 trabajadores en la primera evaluación y posteriormente en la segunda evaluación, después de haber recibido la capacitación respectiva.

	N° Total trabajadores Evaluados	N° de Trabajadores que reciben los niveles de presión sonora indicados con los protectores auditivos puestos			
		1ª Evaluación		2ª Evaluación	
		82 dB o más	85 dB o más	82 dB o más	85 dB o más
Empresa 1	81	81	70	2	1
Empresa 2	19	19	19	3	0
Empresa 3	27	27	27	10	10
Empresa 4	11	11	10	2	2
Total	138	138	126	17	13
%	100,0%	100%	91,3%	12,3%	9,4%

Tabla N°4

Como se aprecia en la Tabla N° 4, gracias a la capacitación "Correcta colocación del tapón y las consecuencias para la salud auditiva derivadas de una mala colocación", de los 138 trabajadores que registraban niveles de ruido iguales o superiores a 82 dB(A) dentro de sus oídos, con los tapones puestos, se logró bajar a 17, es decir, 121 trabajadores mejoraron la atenuación entregada por el protector auditivo, sólo por el hecho de ser capacitados adecuadamente. En los 17 casos en los que se detectó que la segunda prueba no había sido aprobada nuevamente (los cuales no necesariamente fueron los trabajadores que presentaban pérdidas auditivas), se procedió a cambiar el tipo de tapón, con tal de encontrar aquel que se ajustase más a las características individuales del conducto auditivo de cada trabajador, el cual en este caso correspondió al tapón E-A-R Classic (SNR 28 (dB)). Después de realizar este cambio se comprobó que 12,3% que había reprobado la segunda evaluación logró pasar las pruebas, es decir, la atenuación obtenida con el nuevo protector auditivo permitió que al oído de cada trabajador ingresasen niveles de presión sonora inferiores a 82 dB(A), con lo cual finalmente se pudo lograr que el 100% de los trabajadores que no había pasado la prueba originalmente, presentaran un nivel de exposición dentro de la norma.

Adicionalmente a esta mejora, también se pudo verificar la mejora en cuanto a los niveles de atenuación personales (PAR) de cada trabajador. En la Tabla N°5 se pueden comprobar los resultados obtenidos por estos 138 trabajadores en la primera y segunda evaluaciones. En este caso, los resultados son previos al cambio de tapones mencionado en el párrafo anterior.

Atenuaciones Personales Obtenidas (PAR)	1ª Evaluación		2ª Evaluación	
	Nº Trabajaj.	%	Nº Trabajaj.	%
Trabajadores con atenuaciones iguales o menores a 5 dB(A)	102	73,9%	7	5,1%
Trabajadores con atenuaciones entre 5,1 y 10 dB(A)	13	9,4%	12	8,7%
Trabajadores con atenuaciones entre 10,1 y 15 dB(A)	18	13,1%	25	18,1%
Trabajadores con atenuaciones entre 15,1 y 24 dB(A)	5	3,6%	72	52,2%
Trabajadores con atenuaciones entre 24,1 y 30,9 dB(A)	0	0%	22	15,9%
Trabajadores con atenuaciones iguales o superiores a 31 dB(A)	0	0%	0	0%
Total	138	100,0%	138	100,0%

Tabla N°5

Con tal de comprobar la efectividad de la capacitación, se dejaron pasar 2 a 3 meses después de la segunda evaluación, y se volvió a medir por tercera vez al grupo objetivo. Esta vez no se efectuó ninguna capacitación, solamente se le indicó al trabajador que se colocara el tapón tal como se le había enseñado semanas atrás, obteniéndose los resultados que se aprecian en la Tabla N° 6:

	Nº Total trabajadores Evaluados	Nº de Trabajadores que reciben los niveles de presión sonora indicados con los protectores auditivos puestos					
		1ª Evaluación		2ª Evaluación		3ª Evaluación	
		82 dB o más	85 dB o más	82 dB o más	85 dB o más	82 dB o más	85 dB o más
Empresa 1	81	81	70	2	1	5	2
Empresa 2	19	19	19	3	0	0	0
Empresa 3	27	27	27	10	10	4	3
Empresa 4	11	11	10	2	2	2	1
Total	138	138	126	17	13	11	6
%	100,0%	100%	91,3%	12,3%	9,4%	8%	4,3%

Tabla N° 6

Asimismo, las atenuaciones (PAR) obtenidas en esta tercera evaluación fueron las siguientes:

Atenuaciones Personales Obtenidas (PAR)	1ª Evaluación		2ª Evaluación		3ª Evaluación	
	Nº Trabaj.	%	Nº Trabaj.	%	Nº Trabaj.	%
Trabajadores con atenuaciones iguales o menores a 5 dB(A)	102	73,9%	7	5,1%	4	2,9%
Trabajadores con atenuaciones entre 5,1 y 10 dB(A)	13	9,4%	12	8,7%	12	8,7%
Trabajadores con atenuaciones entre 10,1 y 15 dB(A)	18	13,1%	25	18,1%	26	18,8%
Trabajadores con atenuaciones entre 15,1 y 24 dB(A)	5	3,6%	72	52,2%	81	58,7%
Trabajadores con atenuaciones entre 24,1 y 30,9 dB(A)	0	0%	22	15,9%	13	9,4%
Trabajadores con atenuaciones iguales o superiores a 31 dB(A)	0	0%	0	0%	2	1,5%
Total	138	100,0%	138	100,0%	138	100%

Tabla N° 7

Al igual que en la segunda evaluación, se volvió a capacitar sobre la correcta colocación del tapón auditivo a los trabajadores que no pasaron esta tercera prueba (8%), manteniendo el cambio de tapón que se les efectuó en la segunda evaluación. Después de esta capacitación se verificó que nuevamente el 100% de los trabajadores evaluados había pasado exitosamente esta prueba.

Trabajadores con umbral de audición alterado versus nivel protegido:

Uno de los objetivos del estudio fue corroborar si es que existía algún tipo de relación entre las personas que presentaban cambios en sus umbrales auditivos durante los últimos dos años, y el nivel protegido al cual pueden estar expuestos, que corresponde al nivel de ruido al cual está expuesto el trabajador menos la atenuación personal (PAR) obtenida bajo la metodología F-Mire, en el supuesto que un trabajador con mayor daño auditivo debiese obtener un nivel protegido superior a 85 dB(A) debido a un valor PAR bajo o insuficiente.

Para estos efectos se consideraron 17 trabajadores pertenecientes a las cuatro empresas evaluadas, quienes tenían variaciones en su umbral auditivo, desde alteraciones muy leves hasta pérdidas cercanas al 40%. En la Tabla N°8 se pueden apreciar los datos de estos trabajadores, y los resultados obtenidos en la primera evaluación con el sistema EarFit Validation.

Nº Trabajaj.	Empresa	% IG Actual	% IG Anterior	Variación	Nivel de Exposición (dB(A))	PAR	Nivel Protegido (dB(A))	Edad (años)
1	Emp. N° 1	-4,22	-4,27	0,05	83,4	18,5	65	51
2	Emp. N° 1	12,83	10,88	1,95	89	0	89	58
3	Emp. N° 1	0,81	-2,6	3,41	84,7	2,7	82	51
4	Emp. N° 2	19,33	14,95	4,38	95	0	95	50
5	Emp. N° 2	38,02	24,53	13,49	90	0	90	66
6	Emp. N° 2	14,62	12,35	2,27	90	10	80	45
7	Emp. N° 2	-4,32	-10,23	5,91	90	0	90	53
8	Emp. N° 2	6,33	6,98	0	95	17	78	48
9	Emp. N° 3	10,07	7,96	2,11	86	11	75	58
10	Emp. N° 3	6,17	-0,65	6,82	90,7	13,7	77	43
11	Emp. N° 3	14,62	6,98	7,64	96	2	94	59
12	Emp. N° 3	6,5	6,33	0,17	80	16	64	49
13	Emp. N° 3	14,78	13,81	0,97	86	4	82	59
14	Emp. N° 3	12,67	6,01	6,66	91	0	91	71
15	Emp. N° 4	6,17	2,76	3,41	85	19	66	50
16	Emp. N° 4	-3,8	-7,8	4	94,1	18,1	76	35
17	Emp. N° 4	-6,17	-10,66	4,49	85	0	85	47

(*) Todos los trabajadores evaluados corresponden a personas de sexo masculino.

(**) Los valores en rojo denotan que el trabajador estaría expuesto a niveles de ruido perjudiciales, iguales o superiores a 85 dB(A), con los protectores auditivos puestos.

Tabla N° 8

Las variables mencionadas en la tabla corresponden a:

%IG Actual: Corresponde a la pérdida de audición porcentual del trabajador, de acuerdo a la última audiometría efectuada por la ACHS. Los valores positivos indican un pérdida del umbral de audición respecto de una audiometría normal, no obstante, los valores negativos no indican que haya un aumento en el nivel de audición respecto de una audiometría normal, sino que, por efectos matemáticos de cálculo del porcentaje, se tiene el caso que una o dos frecuencias del total de espectro analizado presenta alteraciones.

%IG Anterior: Corresponde a la pérdida de audición porcentual del trabajador de acuerdo a la audiometría anterior a la actual, efectuada por la ACHS, la cual puede ser hace uno, dos o tres años atrás.

Variación: Corresponde a la diferencia de umbral entre las dos audiometrías practicadas. Para el caso de diferencias negativas, como es el caso del trabajador N° 8, se consideró una diferencia igual a 0, ya que la diferencia resulta mínima y está dentro de los márgenes de error aceptables entre dos audiometrías tomadas en tiempos distintos.

Nivel de Exposición: Corresponde al nivel de presión sonora al cual está expuesto el trabajador en su trabajo, expresado en dB(A).

PAR: Corresponde a la atenuación personal obtenida, o Personal Attenuation Rating, al utilizar el sistema EarFit.

Nivel Protegido: Corresponde a la resta entre el Nivel de Exposición y el valor PAR, e indica el nivel de ruido que estaría ingresando al oído del trabajador con el protector auditivo puesto.

Para verificar si el Nivel Protegido se relaciona con las variaciones auditivas que presentan trabajadores con daño auditivo, se procedió a efectuar análisis de regresión lineal, entre la variación en el umbral y el nivel protegido, con un intervalo de confianza del 95%, gracias al software Minitab 16. Los resultados de los modelamientos son los siguientes:

Análisis de regresión: Variación vs. Nivel Protegido (dB(A))

La ecuación de regresión es

$$\text{Variación} = - 12,3 + 0,201 \text{ Nivel Protegido (dB(A))}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	-12,323	5,983	-2,06	0,057
Nivel Protegido (dB(A))	0,20103	0,07325	2,74	0,015

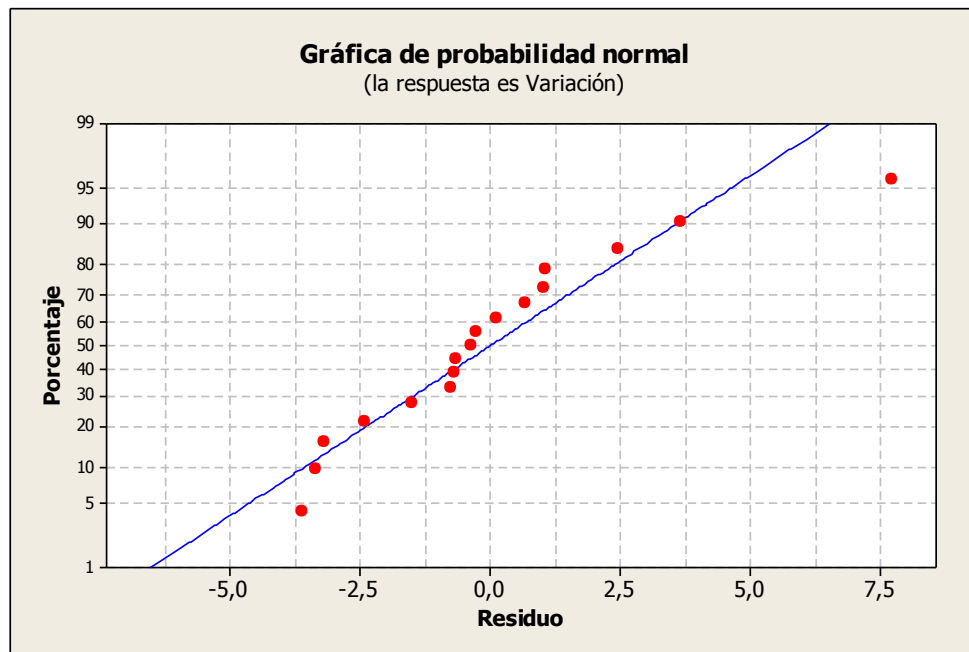
S = 2,89835 R-cuad. = 33,4% R-cuad.(ajustado) = 29,0%

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	63,276	63,276	7,53	0,015
Error residual	15	126,006	8,400		
Total	16	189,282			

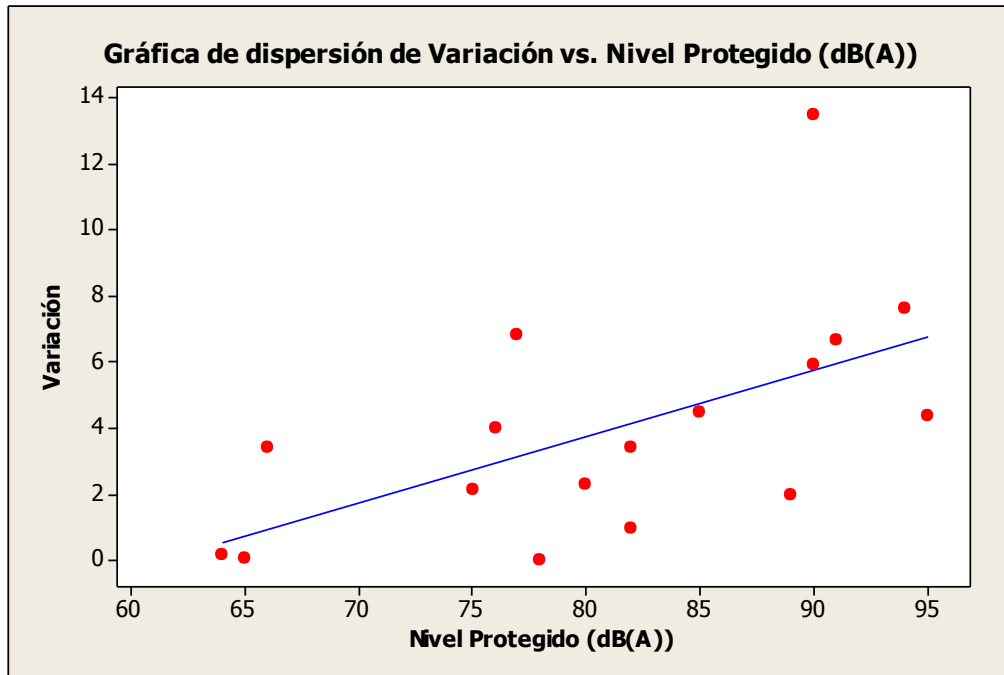
La gráfica de probabilidad normal de residuos correspondió al siguiente:

Gráfico N° 1



A partir de este gráfico, a la derecha se puede apreciar una observación poco común que corresponde al trabajador N° 5. Al graficar la dispersión junto con la curva de regresión se obtiene lo siguiente:

Gráfico N° 2



5. Conclusiones:

- 1) Al verificar los resultados de la Tabla N° 3, se pudo comprobar de manera objetiva que ninguno de los 465 trabajadores evaluados alcanzó la atenuación que traían rotulados los protectores auditivos del tipo tapón, los cuales correspondían a valores SNR iguales 31 y 32 dB, lo cual permite demostrar parte de nuestra hipótesis.

A pesar de recibir capacitación, sólo el 1,5 % de los trabajadores pudo alcanzar los niveles de atenuación rotulados, lo cual demuestra que existen diferencias importantes entre el nivel de atenuación que se entrega en los empaques, los cuales han sido obtenidos bajo la metodología REAT, en comparación a los niveles de atenuación obtenidos con la metodología F-MIRE, siendo esta última, más representativa de las condiciones reales de uso en terreno.

- 2) El uso de una herramienta como el Sistema EarFit Validation, que permite detectar de manera objetiva la atenuación personal que obtiene cada trabajador

- al colocarse el tapón auditivo gracias a la metodología F-MIRE, permitió detectar que 40,4% de los trabajadores estaba recibiendo 82 dB(A) o más al interior de sus oídos con el protector auditivo puesto. Además, esta tecnología permitió verificar que el 29,2% de los trabajadores evaluados inicialmente podría correr el riesgo de quedarse efectivamente sordo a pesar de estar usando su protector auditivo del tipo tapón, ya que al interior de su oído estaban llegando 85 dB(A) o más con los protectores auditivos puestos.
- 3) La capacitación sobre la buena colocación del protector auditivo tipo tapón resulta fundamental para que el trabajador quede efectivamente protegido contra los niveles de ruido a los cuales está expuesto. La combinación de esta capacitación más la obtención del nivel de atenuación personal (PAR) constituyen herramientas efectivas que permiten mejorar la protección auditiva que reciben los trabajadores, ya que ellas son representativas de condiciones reales de uso, y no han sido obtenidas en ambientes de laboratorio como ocurre con la metodología REAT. Esto se puede verificar al comparar los niveles de atenuación obtenidas al comienzo de las evaluaciones, donde cerca de un 74% de los trabajadores que no había pasado la prueba presentaba niveles de atenuación iguales o inferiores a 5 dB(A), lo cual se pudo revertir y disminuir a un 2,9% después de la tercera evaluación. Por otra parte, se logró aumentar el nivel de atenuación que entregan los protectores auditivos ya que, se pudo pasar de un 3,6% de trabajadores que obtuvieron inicialmente atenuaciones iguales o superiores a 15 dB(A) a un 69,6% de trabajadores que obtuvieron atenuaciones iguales o superiores a dicho nivel de presión sonora.
 - 4) Si bien es cierto que se mejoraron los niveles de atenuación personal gracias a la capacitación, también se pudo comprobar que a un 12,3% de los trabajadores que no habían pasado satisfactoriamente la pruebas, se les tuvo que cambiar el tipo de protector auditivo, lo cual demuestra que no todos los protectores auditivos tipo tapón sirven para todas las personas de igual manera. En este sentido, los diferentes conductos auditivos hacen que algunas veces el tapón seleccionado no sea el más adecuado dada las características del canal auditivo de cada persona.
 - 5) Se pudo demostrar que la baja atenuación entregada por el tapón se debe a factores principalmente humanos, es decir, es el propio trabajador quién no se coloca bien el protector auditivo, descartándose por otra parte que los protectores auditivos seleccionados bajo metodologías normadas no sean adecuados para proteger a los trabajadores de los niveles de presión sonora dañinos para la audición.
 - 6) A pesar de haber recibido la capacitación respectiva, se pudo comprobar que después de dos a tres meses un pequeño número de trabajadores igual presentaba atenuaciones insuficientes, lo cual demuestra que este tipo de evaluaciones a través de la metodología F-MIRE debiese realizarse al menos una vez al año, y debiese estar ojalá contenida dentro de un programa anual de conservación auditiva.
 - 7) El uso del sistema Ear Fit Validation constituye un aporte para la capacitación del trabajador, quién puede darse cuenta que la mala colocación del tapón puede generarle una sordera profesional. A su vez, constituye una herramienta para

capacitar y motivar a los trabajadores a colocarse adecuadamente los tapones, dado que los resultados son obtenidos de manera inmediata, en sólo 8 segundos, lo cual permite capacitar al trabajador inmediatamente.

- 8) Al revisar el análisis de regresión, se pudo comprobar que hay una relación directa entre la variación del umbral auditivo de trabajadores con daño y el nivel de ruido que llega a los oídos de los trabajadores con los protectores auditivos puestos. El hecho que el valor "t" de la variable Nivel Protegido sea mayor que 2 (en este caso 2,78) implica que esta variable resulta ser significativa para el modelo de regresión, lo cual se corrobora con un valor "p" que resulta ser inferior a 0,05 (en este caso 0,015). Por último, se tiene que valor "R cuadrado" es igual a 33,4%, lo cual indica que un 33,4% del resultado se explica por el Nivel Protegido, habiendo otras variables que también resultan ser significativas para lo que es el cambio en el umbral auditivo de los trabajadores. Este punto permite demostrar finalmente la última parte de nuestra hipótesis.

6. Discusión Final:

A partir del análisis realizado se puede verificar que, las empresas, a pesar de utilizar métodos normalizados para seleccionar protectores auditivos para sus trabajadores, podrían tener trabajadores expuestos a contraer sordera profesional a pesar de utilizar protectores auditivos, ya que el valor de atenuación de los protectores auditivos obtenido en terreno, difiere del obtenido bajo condiciones de laboratorio.

De aquí se desprende que los programas de conservación auditiva tanto desde el punto de vista regulatorio, como propio de cada empresa, debiesen considerar análisis anuales de atenuación a través de la metodología F-MIRE, ya que las metodologías aplicadas actualmente para calcular las atenuaciones resultan ser insuficientes. La generación de normas a partir de estas nuevas metodologías resulta de suma importancia con tal de homogeneizar su aplicación y validar el F-MIRE como método complementario al REAT.

Por otra parte, si bien es cierto que en el presente estudio se demostró que existe una relación entre la pérdida de umbral de audición y el nivel de atenuación que reciben los trabajadores al utilizar protectores auditivos del tipo tapón, futuras investigaciones debiesen ahondar más en este ámbito y abarcar una mayor población de estudio junto con otros rubros económicos como construcción, minería y el área forestal, por nombrar algunas, ya que la muestra analizada correspondió 17 trabajadores pertenecientes a las áreas de manufactura, metalmecánica y alimentos y bebidas. A su vez, resultaría interesante desarrollar estudios similares para el caso de los protectores auditivos del tipo orejera, con tal de verificar qué sucede con este tipo de protector auditivo.

7. Bibliografía

- 1) Anuario Estadístico ACHS 2009 – Gerencia de Prevención – Asociación Chilena de Seguridad.
- 2) Programa de Vigilancia de Trabajadores Expuestos a Ruido, Gerencia de Salud, Asociación Chilena de Seguridad.
- 3) Programa de Vigilancia de Trabajadores Expuestos (VTE), I-Series, Asociación Chilena de Seguridad.
- 4) Gallo, Ronald and Glorig, Aram(1964) 'Permanent Threshold Shift Changes Produced by Noise Exposure and Aging', American Industrial Hygiene Association Journal, 25: 3, 237 – 245
- 5) Rabinowitz PM, Galusha D, Slade MD, Dixon-Ernst C, O'Neill A, Fiellin M, Cullen MR., Organic solvent exposure and hearing loss in a cohort of aluminium workers.
- 6) Berger EH. Can real-world hearing protector attenuation be estimated using laboratory data? Sound Vib.1988; 22(12):26-31
- 7) Berger EH, Franks JR, Lindgren F – International review of field studies of hearing protectors. Scientific Basis of Noise-Induced Hearing Loss, Chapter 29
- 8) Dantscher Sandra, Hearing protectors: correction values bridge the gap between laboratory testing and the field, Kommission Arbeitsschutz und Normung, KANBrief, 03/2009.
- 9) Edwards R. G., Broderson A. B., Green W. W. and Lempert B. L., A Second Study of the Effectiveness of Earplugs as Worn in the Workplace. Sound and Vib., 12, 1, 12-22 (January 1978).
- 10) Neitzel R., Somers S., Seixas N., Variability of real world hearing protector attenuation measurements. Ann. occup Hyg., pp 1-13.
- 11) Toivonen M., Pääkkönen R., Savolainen S., Lehtomäki K., Noise attenuation and proper insertion of earplugs into ear canals. Ann. occup Hyg., Vol. 46. No. 6. pp 527-530, 2002
- 12) ISO 4869-1:1990, Acoustics - Hearing protectors - Part 1: Subjective method for the measurement of sound attenuation.
- 13) ISO/TS 4869-5:2006, Acoustics - Hearing protectors - Part 5: Method for estimation of noise reduction using fitting by inexperienced test subjects
- 14) UNE-EN 352-2:2003, Protectores auditivos. Requisitos generales. Parte 2: Tapones.
- 15) NCh1331/2.Of2001, Protectores auditivos - Parte 2: Requisitos y métodos de ensayo para tapones auditivos
- 16) NCh1331/5.Of2001, Protectores auditivos - Parte 5: Método subjetivo de medición de la atenuación sonora
- 17) Berger EH., Introducing F-MIRE Testing - Background and concepts, E•A•R / Aearo Technologies, E•A•RCALSM Laboratory, feb. 2007.
- 18) Berger EH, Voix J., Kieper R.W., C. Le Cocq, Method of developing and validating a Field – MIRE. Approach for measuring Hearing Protector Attenuation. 32nd Annual Conference of the National Hearing Conservation Association, Spectrum, Vol. 24, Suppl. 1.
- 19) NCh1331/6.Of2001, Protectores auditivos - Parte 6: Estimación de los niveles de presión sonora efectivos ponderados A cuando se utilizan protectores auditivos

- 20) ANSI/ASA S12.42-2010, Methods for the Measurement of Insertion Loss of Hearing Protection Devices in Continuous or Impulsive Noise Using Microphone-in-Real-Ear or Acoustic Test Fixture Procedures.
- 21) Berger EH, Voix J., Hager L., Methods of fit testing hearing protectors, with representative field test data, 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) 2008, Foxwoods, CT.
- 22) Protocolo de Exposición Ocupacional a Ruido (PREXOR), Instituto de Salud Pública de Chile, noviembre 2011.
- 23) Espinosa J.M., Gerges S.N., Obtención de la reducción de ruido de los protectores auditivos según la técnica MIRE, VI Congreso Iberoamericano de Acústica 2008, Buenos Aires, Argentina.

8. Anexos:

Los Anexos se enviarán por correo electrónico y en archivos digitales.