



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY



FACULTAD DE  
INGENIERÍA  
UDELAR

## Estudio epidemiológico de una población ocupacionalmente expuesta a ruido

Gonzalo Barcia

Tesis de Maestría presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República en cumplimiento parcial de los requerimientos para la obtención del título de Magister en Ingeniería Ambiental

Tutor:

Alice Elizabeth González

Tribunal:

José Cataldo

Fernando Tomasina

Héctor Campello Vicente

Montevideo, Uruguay

Diciembre 2022

PÁGINA DE APROBACIÓN

Facultad de Ingeniería

El tribunal docente integrado por los abajo firmantes aprueba la Tesis de Investigación:

Título

.....  
.....

Autor/s

.....  
.....

Tutor

.....

Carrera

.....

Puntaje

.....

Tribunal

Profesor.....

(Nombre y firma).

Profesor.....

(Nombre y firma)

Profesor.....

(Nombre y firma)

Fecha

<b>RESUMEN</b>	<b>7</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>8</b>
<b>2 DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RUIDO</b>	<b>9</b>
<b>2.1 DEFINICIÓN DE RUIDO</b>	<b>9</b>
<b>2.2 FRECUENCIA Y PERÍODO</b>	<b>9</b>
2.2.1 DEFINICIONES	9
2.2.2 RANGO AUDIBLE	10
2.2.3 SONIDOS PERIÓDICOS Y TONOS PUROS	10
2.2.4 COMPOSICIÓN ESPECTRAL DE LOS SONIDOS	10
<b>2.3 PROPAGACIÓN</b>	<b>10</b>
2.3.1 VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DEL SONIDO	11
2.3.2 PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN DISTINTOS MEDIOS.	12
<b>2.4 PRESIÓN SONORA</b>	<b>13</b>
<b>2.5 ENERGÍA DE UNA ONDA SONORA</b>	<b>14</b>
2.5.1 POTENCIA ACÚSTICA	14
2.5.2 INTENSIDAD ACÚSTICA	14
<b>2.6 NIVELES DE PRESIÓN SONORA</b>	<b>14</b>
<b>3 MEDICIONES AMBIENTALES Y MÉTODOS DE CONTROL DE RUIDO</b>	<b>16</b>
<b>3.1 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN</b>	<b>16</b>
3.1.1 SONÓMETROS	16
3.1.1.1 Compensación de frecuencias	17
3.1.1.2 Precauciones al medir con un sonómetro	18
3.1.2 DOSÍMETRO PERSONAL	18
3.1.2.1 Medición con un dosímetro personal	19
3.1.3 CALIBRADOR ACÚSTICO	19
<b>3.2 MEDIDAS DE CONTROL DE RUIDO</b>	<b>20</b>
3.2.1 GENERALIDADES	20
3.2.2 RESONADORES DE HELMHOLTZ	22
3.2.3 PANELES RÍGIDOS O MEMBRANAS ACÚSTICAS	22
3.2.4 ABSORBENTES FUNCIONALES	22
<b>4 MECANISMO DE AUDICIÓN Y AFECTACIONES A LA SALUD</b>	<b>24</b>
<b>4.1 ANATOMÍA DEL OÍDO</b>	<b>24</b>
4.1.1 EL OÍDO EXTERNO	24

4.1.2	EL OÍDO MEDIO-----	24
4.1.3	EL OÍDO INTERNO -----	25
<b>4.2</b>	<b>AFECTACIÓN A LA SALUD -----</b>	<b>26</b>
4.2.1	PÉRDIDA DE AUDICIÓN-----	26
4.2.1.1	Definiciones -----	26
4.2.1.2	Causas Congénitas-----	28
4.2.1.3	Causas Adquiridas-----	28
4.2.2	OTRAS AFECTACIONES A LA SALUD -----	29
4.2.2.1	Molestia -----	29
4.2.2.2	Efectos cardiovasculares -----	29
4.2.2.3	Interrupciones del sueño debido al ruido-----	30
4.2.2.4	Problemas cognitivos/educativos debido al ruido-----	31
4.2.2.5	Vibraciones -----	31
<b>4.3</b>	<b>ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP) -----</b>	<b>32</b>
4.3.1	GENERALIDADES-----	32
4.3.2	SELECCIÓN DE PROTECTORES AUDITIVOS -----	33
4.3.3	SELECCIÓN SEGÚN NIVELES DE EXPOSICIÓN (BASADO EN NTP 638)-----	34
4.3.3.1	Definiciones -----	34
4.3.3.2	Método de las bandas de octava-----	35
4.3.3.3	Método de H, M y L -----	35
<b>5</b>	<b>MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE PÉRDIDA AUDITIVA -----</b>	<b>37</b>
<b>5.1</b>	<b>GENERALIDADES Y PROCESOS TÍPICOS DE PÉRDIDAS AUDITIVAS POR TRAUMA SONORO -----</b>	<b>37</b>
<b>5.2</b>	<b>ÍNDICE DE PÉRDIDA TEMPRANA (ELI) -----</b>	<b>40</b>
<b>5.3</b>	<b>PÉRDIDA AUDITIVA EN FRECUENCIAS CONVERSACIONALES (SAL)-----</b>	<b>40</b>
<b>5.4</b>	<b>DESCENSO PROMEDIO EN UMBRALES AUDITIVOS EN LA ZONA DE LA PALABRA (DPU) -----</b>	<b>41</b>
<b>5.5</b>	<b>PÉRDIDA AUDITIVA MEDIA [LAFON &amp; DUCLOS, MÉTODO (2000 + 4000)/2]-----</b>	<b>42</b>
5.5.1	INTRODUCCIÓN-----	42
5.5.2	PÉRDIDA AUDITIVA MEDIA (PAM) -----	43
5.5.3	PRIMER PERIODO -----	44
5.5.4	SEGUNDO PERIODO-----	44
5.5.5	TERCER PERIODO-----	44
5.5.6	PÉRDIDA AUDITIVA PROMEDIO ESTÁNDAR (PAM)-----	44
5.5.7	ZONAS DEL PAM-----	46
<b>6</b>	<b>REGULACIÓN LABORAL Y SEGUIMIENTO OCUPACIONAL -----</b>	<b>47</b>
<b>6.1</b>	<b>REGULACIÓN LABORAL -----</b>	<b>47</b>
6.1.1	REGLAMENTACIÓN INTERNACIONAL -----	48
6.1.1.1	Reglamento de la Unión Europea (UE) -----	48

6.1.1.2	Caso de España como integrante de la UE	50
6.1.1.3	Reglamento EE.UU.	50
6.1.1.4	Reglamento México	51
6.1.1.5	Reglamento Argentina	52
6.1.1.6	Reglamento Chile	54
6.1.2	REGLAMENTACIÓN NACIONAL Y SU EVOLUCIÓN	58
6.1.2.1	Decreto 406/988	58
6.1.2.2	Ley 17.852 (2004) Prevención Vigilancia y Corrección de la Contaminación Acústica	58
6.1.2.3	Decreto 210/011	58
6.1.2.4	Decreto N° 143/012	58
6.1.2.5	Decreto N° 125/014 - Seguridad e Higiene en la Industria de la Construcción	58
6.1.2.6	Decreto N° 321/009 – Reglamentación del Convenio Internacional de Trabajo N° 184 Sobre Seguridad y Salud en la Agricultura	59
<b>6.2</b>	<b>SALUD OCUPACIONAL Y SEGUIMIENTO DE TRABAJADORES EXPUESTOS</b>	<b>59</b>
6.2.1	OIT	59
6.2.2	UNIÓN EUROPEA 2003/10/CE	60
6.2.3	ESPAÑA	60
6.2.4	EEUU	61
6.2.5	MÉXICO	62
6.2.6	ARGENTINA	62
6.2.7	CHILE	67
6.2.8	URUGUAY	70
<b>7</b>	<b><u>NORMA ISO 1999:2013</u></b>	<b><u>72</u></b>
7.1	INTRODUCCIÓN	72
7.2	TÉRMINOS Y DEFINICIONES	73
7.3	PREDICCIÓN DE LOS EFECTOS DEL RUIDO EN EL LÍMITE DE AUDICIÓN	74
7.3.1	BASES DE DATOS PARA DETERMINACIÓN DE HTLA (H)	74
7.3.1.1	Base de datos A	74
7.3.1.2	Base de datos B	74
7.3.2	CÁLCULO DEL CAMBIO PERMANENTE DEL UMBRAL DE AUDICIÓN (N)	75
7.3.2.1	Cálculo de $N_{50}$	75
7.3.2.2	Distribución estadística del cambio permanente del límite de audición (N)	75
7.3.2.3	Parámetros $d_u$ y $d_l$	76
7.4	EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE AUDICIÓN Y DISCAPACIDAD INDUCIDA POR EXPOSICIÓN A RUIDO	76
7.4.1	PÉRDIDA AUDITIVA	76
<b>8</b>	<b><u>CASO DE ESTUDIO</u></b>	<b><u>78</u></b>
8.1	DESCRIPCIÓN DE PROCESOS EN ESTUDIO	78

8.1.1	PLANTAS ÁCIDO	78
8.1.2	PALAS MECÁNICAS	78
8.1.3	PLANTA GRANULADOS	79
<b>9</b>	<b><u>DISCUSIÓN</u></b>	<b><u>81</u></b>
<b>9.1</b>	<b>ANÁLISIS COMPARATIVO DE MARCO REGULATORIO</b>	<b>81</b>
<b>9.2</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA BASE DE DATOS DE AUDIOMETRÍAS</b>	<b>85</b>
9.2.1	CASO 1.- PROMEDIO 500 – 1000 – 2000 Hz (SAL)	86
9.2.2	CASO 2.- PROMEDIO 500 – 1000 – 2000 – 4000 Hz	95
9.2.3	CASO 3.- ELI (EARLY LOSS INDEX – PÉRDIDA 4000Hz)	102
9.2.4	CASO 4.- (2000 + 4000)/2	110
9.2.5	CASO 5 – DPU	127
<b>9.3</b>	<b>ANÁLISIS DE LOS DATOS DE PREVISIÓN DE PÉRDIDA POR NORMA ISO 1999:2013 SEGÚN LAS MEDIDAS DE CAMPO</b>	
	<b>133</b>	
9.3.1	CASO 1: PROMEDIO 500 – 1000 – 2000 Hz	138
9.3.2	CASO 2.- PROMEDIO 500 – 1000 – 2000 Y 4000Hz	140
9.3.3	CASO 3.- PÉRDIDA 4000Hz	142
9.3.4	CASO 4.- (2000 + 4000)/2	144
9.3.5	CASO 5.- DPU	145
<b>9.4</b>	<b>COMPARACIÓN DE ESTIMADORES</b>	<b>147</b>
<b>10</b>	<b><u>CONCLUSIONES</u></b>	<b><u>154</u></b>
<b>11</b>	<b><u>BIBLIOGRAFÍA</u></b>	<b><u>155</u></b>
<b>12</b>	<b><u>ANEXO</u></b>	<b><u>158</u></b>

## Resumen

Se realiza un análisis epidemiológico de una población expuesta a ruido fabril, la cual se subdivide entre rangos de edades y plantas de producción.

El análisis poblacional se realiza según distintas metodologías referidas en la bibliografía. Esto implicó a su vez realizar mediciones en la planta, para poder determinar los niveles de presión sonora en las áreas de interés, así como también sus espectros frecuenciales.

Previamente, se discute y analizan distintas reglamentaciones de países de América y Europa, en las que se encuentran incongruencias e incompatibilidades.

Se comparan los resultados de la aplicación de las diferentes metodologías y se determina el mejor estimador para la población estudiada.

Por último, se hace un cálculo exploratorio para ver algún posible abordaje para reducir los niveles de presión sonora en las áreas más ruidosas de la planta.

## 1 Introducción

Según la OMS para 2050, se prevé que casi 2500 millones de personas tendrán algún grado de pérdida auditiva y al menos 700 millones necesitarán rehabilitación auditiva y más de mil millones de adultos jóvenes corren el riesgo de sufrir una pérdida auditiva evitable y permanente debido a prácticas auditivas inseguras.

La pérdida auditiva "incapacitante" se refiere a una pérdida auditiva superior a 35 decibeles (dB)<sup>1</sup> en el oído con mejor audición. Casi el 80 % de las personas con pérdida auditiva incapacitante viven en países de ingresos bajos y medios. La prevalencia de hipoacusia aumenta con la edad, entre los mayores de 60 años, más del 25 % se ven afectados por hipoacusia incapacitante

La prevención de la pérdida auditiva es esencial a lo largo de la vida, desde los períodos prenatal y perinatal hasta la vejez. En los niños, casi el 60 % de la pérdida de audición se debe a causas evitables que se pueden prevenir mediante la implementación de medidas de salud pública. Asimismo, en adultos, las causas más comunes de pérdida de audición, como la exposición a sonidos fuertes y medicamentos ototóxicos, son prevenibles (OMS 2021).

En nuestro país, según el último censo de población existen aproximadamente 120.000 personas con problemas auditivos y más de 30.000 con sordera severa o total (MSP 2020).

Desde el punto de vista de la hipoacusia laboral, considerando que en EEUU aproximadamente 33 % de adultos en edad de trabajar que tienen antecedentes de exposición a ruido laboral presentan evidencia de daño auditivo inducido por ruido y que el 16 % de los trabajadores expuestos a ruido tienen importante pérdida auditiva (Themann, 2019), resulta llamativo que en Uruguay, el Banco de Seguros del Estado (BSE) en su monitor de enfermedades profesionales 2021, reporta solo 3 casos de hipoacusia como enfermedad profesional (BSE 2021).

Se entiende pertinente el análisis de la legislación nacional e internacional, los criterios de definición de enfermedad profesional, discapacidad y los métodos de valoración de la hipoacusia profesional.

---

<sup>1</sup> Existen algunas diferencias o inconsistencias en las definiciones según las diferentes fuentes consultadas de los niveles de pérdida acústica según los distintos organismos. A los efectos de este estudio, los límites serán definidos oportunamente.

## 2 Definición y caracterización de ruido

Para el abordaje del tema es necesario conocer las características del contaminante con el que se está lidiando y las diferentes formas de medirlo, cuantificarlo y operar sobre él. En este capítulo se presentan estos conceptos iniciales, a partir de Harris (1977) y González (2017).

### 2.1 Definición de Ruido

Desde el punto de vista físico se puede definir como: *una perturbación de la presión de equilibrio de un medio material elástico, que se propaga como una onda de presión y que potencialmente puede, de acuerdo con su frecuencia y amplitud, generar sensación auditiva en las personas.*

Al tratarse de propagación de ondas de presión, la transferencia es únicamente de energía y el mecanismo de transferencia se describe como la descompresión del gradiente de presión del elemento del material donde la presión ha aumentado por la incidencia de la onda, hacia receptores del medio circundante. Como consecuencia, el elemento receptor aumentará la presión y en su posterior descompresión continuará propagando la onda en el medio.

A los efectos de este estudio solo se tomará en cuenta el aire como medio de propagación, dadas las características del caso de estudio (la evaluación epidemiológica de la salud auditiva de una población trabajadora).

### 2.2 Frecuencia y período

#### 2.2.1 Definiciones

Frecuencia ( $f$ ) es el número de pulsos o ciclos de presión que se producen por unidad de tiempo. Tiene dimensiones de  $s^{-1}$  y su unidad de medida es el Hertz (Hz).

Período ( $T$ ) es el tiempo que media entre dos repeticiones sucesivas de un evento; es el inverso de la frecuencia ( $T = 1/f$ ) y se mide en unidades de tiempo (s).

Dado un sonido periódico de frecuencia  $f$ , la correspondiente perturbación se repite cada un tiempo  $T = 1/f$ . El desplazamiento de la perturbación es  $c \times T$ , donde  $c$  es la velocidad de propagación de las ondas de presión en el medio y  $T$  es el período; la distancia que se tiene entre dos perturbaciones sucesivas, se denomina longitud de onda ( $\lambda$ ):

$$\lambda = \frac{c}{f} = cT$$

### 2.2.2 Rango Audible

El intervalo de frecuencias audibles, definido como el rango de frecuencias tales donde una onda de presión es susceptible de generar sensación auditiva, va de 20 Hz a 20.000 Hz. Sin embargo, no todas las ondas generan sensación auditiva, dependiendo de su amplitud.

### 2.2.3 Sonidos periódicos y tonos puros

La perturbación periódica más simple es aquella en la que la presión varía en el tiempo según el seno de un cierto ángulo que depende de la frecuencia  $f$  de la onda:

$$p(t) = p_{m\acute{a}x} \text{sen}(2\pi ft)$$

El sonido resultante se denomina tono puro. Todo sonido puede considerarse como formado por la superposición de tonos puros de distintas frecuencias (Teorema de Fourier).

Un sonido periódico de frecuencia  $f$  puede descomponerse en un conjunto de tonos puros cuyas frecuencias son múltiplos de  $f$ . Estos sonidos se denominan armónicos y  $f$  se denomina frecuencia fundamental.

La intensidad de los distintos armónicos varía de acuerdo con las características del emisor, lo que confiere al sonido su timbre, propiedad que permite diferenciar sonidos de igual frecuencia e intensidad cuando provienen de diferentes fuentes.

### 2.2.4 Composición espectral de los sonidos

Para analizar el contenido energético de los sonidos se los descompone en un conjunto de frecuencias. En este tratamiento, que se llama análisis espectral, los conjuntos de frecuencias son intervalos conocidos que se designan como *bandas*, en general en *bandas de octava* o *de tercios de octava*.

Se denomina banda de octava (BO) al intervalo de frecuencias que queda definido por una relación tal que la frecuencia extrema superior es el doble de la inferior  $f_2 = 2 f_1$ .

Se denomina banda de tercio de octava (BTO) a aquella en que sus frecuencias extremas están relacionadas de la siguiente forma:  $f_2 = 2^{1/3} f_1$ .

Resulta entonces que cada BO o BTO tiene una amplitud mayor que la anterior, es decir, se trata de *bandas de ancho variable* y las frecuencias centrales de las BO y BTO están estandarizadas según normas internacionales.

## 2.3 Propagación

La propagación de una onda de presión no significa que haya transporte de moléculas de aire, sino que cada partícula es desplazada de su posición de equilibrio, ejerciendo una fuerza sobre la partícula contigua y ocasionándole el mismo efecto. Al terminar de pasar la perturbación cada partícula vuelve a

su posición original. La distancia máxima que se desplazan las partículas desde su posición de equilibrio se denomina amplitud del desplazamiento.

La descripción del fenómeno puede hacerse en términos de velocidad  $u$ , ya que en una onda plana la presión es proporcional a la velocidad de las partículas:

$$p = u \cdot \rho c$$

$\rho$  = densidad del aire ( $\text{kg/m}^3$ )

$c$  = velocidad de propagación del sonido ( $\text{m/s}$ )

$u$  = velocidad de la partícula ( $\text{m/s}$ )

El cociente  $p/u$  se denomina impedancia acústica específica del medio ( $Z$ ) y su unidad es el Rayl: 1 Rayl = 1 Pa.s/m.

### 2.3.1 Velocidad de propagación del sonido

En una onda plana la presión en cada instante es constante sobre cada plano perpendicular a la dirección de propagación. Si la onda se desplaza con cierta velocidad  $c$  (velocidad del sonido), al cabo de un tiempo  $t$  las variaciones de presión llegan a una distancia  $d = c \cdot t$  del punto en que se inició el fenómeno. La velocidad de la onda,  $c$ , es mucho mayor que la velocidad de movimiento de las partículas con respecto a su posición de equilibrio, y en un gas depende de su peso molecular y de su temperatura:

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

Con:

$\gamma$ : constante adiabática del gas (para el aire, 1,4)

$R$ : constante universal de los gases (8,314 J/mol K)

$T$ : temperatura absoluta (K)

$M$ : peso molecular del gas, en kg/mol (para el aire,  $28,95 \times 10^{-3}$  kg/mol)

En este caso las ondas sonoras, son ondas de densidad con movimiento longitudinal, esta propagación se puede caracterizar con dos magnitudes: la presión sonora, y la velocidad del sonido.

Estas ondas longitudinales se propagan fundamentalmente de dos formas:

- i) Ondas planas progresivas (el modelado para fuentes lejanas es el de pistón indeformable)
- ii) Ondas esféricas (el modelado para fuentes cercanas es el de esfera radiante)

### 2.3.2 Propagación del sonido en distintos medios.

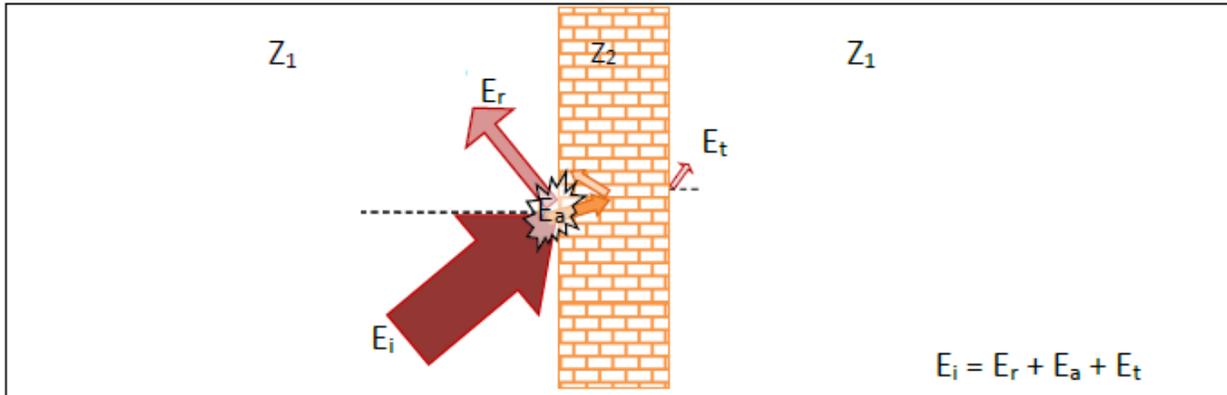


Figura 2.1. Posibles destinos de la energía acústica incidente en una superficie (tomado de González, 2017)

$$E_i = E_r + E_a + E_t$$

Donde (ver Figura 2.1):

- $E_i$ : Energía sonora incidente
- $E_r$ : Energía sonora reflejada
- $E_a$ : Energía sonora absorbida
- $E_t$ : Energía sonora transmitida

En este caso, además de las ondas longitudinales, el sonido también se puede propagar mediante ondas transversales. La propagación mediante unos tipos u otros de ondas depende no solamente del material, sino también, en parte, de la geometría del cuerpo sólido considerado.

La diferencia entre la energía incidente y la reflejada,  $E_i - E_r$ , dividida entre la intensidad incidente  $E_i$ , es una medida del grado de absorción  $\alpha$ , lo cual sucede en la frontera.

$$\alpha = \frac{(E_i - E_r)}{E_i}$$

La intensidad de energía  $E_i - E_r$ , que no es reflejada, puede ser disipada ya sea dentro de la estructura propia del material por pérdidas por fricción, viscosidad o histéresis (Energía absorbida total  $E_a$ ) por una parte, o transmitida desde el divisorio por medio de la vibración transmitida por la estructura.

El remanente es re-irradiado a la frontera de la estructura del divisorio con energía  $E_t$ . La cantidad de energía re-irradiada en el lado receptor de la estructura es caracterizada por el coeficiente  $\tau$ , que es numéricamente igual a la razón de la energía transmitida  $E_t$  a la intensidad incidente  $E_i$ .

$$\tau = \frac{E_t}{E_i}$$

Los coeficientes  $\alpha$  y  $\tau$  describen la capacidad de un material de absorber y transmitir energía acústica fluido o aero-transmitida y cada uno tiene un valor máximo de uno.

## 2.4 Presión sonora

El sonido es una perturbación que consiste en una variación de la presión  $P$  del aire respecto a la presión de equilibrio. El oído es estimulado por esas variaciones de la presión en determinadas condiciones de frecuencia e intensidad, generando una sensación auditiva.

Se llama presión sonora ( $p$ ) a la presión incremental que resulta de restar la presión estática o de equilibrio a la presión total en el punto considerado:

$$p = P - p_{atm}$$

El orden de magnitud de la perturbación es mucho menor al valor de la presión atmosférica.

### Presión eficaz

El valor medio es la media aritmética de los valores instantáneos que toma la función periódica durante un período  $T$  completo, y por ende, en ondas sinusoidales, tiene valor nulo. De ahí que se emplee el valor eficaz.

El valor eficaz es la media cuadrática de los valores instantáneos durante un período  $T$  completo y se interpreta como la magnitud de la señal continua que produce en un ciclo el mismo efecto que la señal original que varía en el tiempo.

Si la señal es variable, se define el valor cuadrático medio de la presión sonora  $p(t)$ :

$$VCM = \frac{1}{T} \int_0^T p^2 dt$$

y la presión sonora eficaz:

$$p_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2 dt}$$

Los instrumentos de medición usualmente consideran valores eficaces. Así, en términos de presión eficaz  $p_{ef}$ , la intensidad acústica media en un cierto intervalo de tiempo se puede escribir como:

$$I = \frac{p_{ef}^2}{\rho c}$$

## 2.5 Energía de una onda sonora

Como la energía asociada con una onda sonora se relaciona con la presión, resulta que la energía se va propagando junto con la perturbación. Como la presión es diferente de cero sólo en los puntos por los que está pasando la perturbación, en esos puntos se tiene también un valor de energía acústica no nulo. En ondas planas la energía es proporcional al cuadrado de la presión

### 2.5.1 Potencia acústica

La potencia se define como la cantidad de energía por unidad de tiempo. Por ende, es la cantidad de energía acústica que puede emitir una fuente por unidad de tiempo; esta es una característica de la fuente.

### 2.5.2 Intensidad acústica

Se denomina intensidad al flujo de energía a través de una superficie por unidad de tiempo. Como la cantidad de energía por unidad de tiempo es la potencia, entonces la intensidad también puede entenderse como potencia por unidad de área.

## 2.6 Niveles de presión sonora

Sea un nivel el logaritmo decimal del cociente entre dos valores de una misma magnitud cuyo denominador es el valor de referencia de la magnitud en cuestión. Si bien la unidad de la escala de niveles es el bel (relación de 10 veces entre el numerador y el denominador de la expresión), para lograr un rango más amplio dentro de la misma escala se emplea el decibel (dB), que es la décima parte del bel.

Se trabaja entonces con niveles de: presión sonora, intensidad sonora y de potencia acústica. En los tres casos, sus valores se expresan en dB.

Para el caso de los niveles de presión sonora, el valor de referencia que se emplea es el umbral auditivo o umbral de la percepción ( $20 \times 10^{-6}$  Pa)

$$L_p = 10 \log \left( \frac{p}{20 \times 10^{-6}} \right)^2 = 20 \log \left( \frac{p}{20 \times 10^{-6}} \right)$$

Siendo:

$L_p$  = nivel de presión sonora, expresado en dB

$p$  = presión sonora, expresada en Pa

Dado que el umbral de dolor corresponde a una presión sonora equivalente a 200 Pa, entonces operando se tiene que el rango audible está ubicado entre los 0 y los 140 dB.

En caso de existir más de una fuente emisora, en la práctica en general existe la necesidad de conocer el nivel de ruido que resultaría del funcionamiento simultáneo de las dos fuentes, como suma de dos niveles de ruido. Al tratarse de magnitudes logarítmicas, los niveles no se pueden sumar algebraicamente.

$$L_t = 10 \log \left( 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} \right)$$

A continuación se definen distintas concepciones de distintas denominaciones de dB que corresponde diferenciar por su aparición en normativa o documentación técnica:

- dB SPL: decibeles de presión sonora, Sound Pressure Level (SPL por sus siglas en inglés) Se utiliza para hacer una descripción física del sonido. Se aplica en las mediciones de niveles de presión sonora en áreas físicas o producidos por una fuente generadora de sonido como puede ser una máquina en una industria.
- dB HL: decibeles de nivel auditivo, Hearing Level (HL por sus siglas en inglés) Su aplicación es en las mediciones de la percepción auditiva humana. La curva de referencia se obtuvo como resultado de la medición de los umbrales de percepción mínima, obtenidos en un grupo de 500 estudiantes entre 18 y 21 años, sin antecedentes de patología auditiva. Los valores de presión sonora necesarios para producir percepción auditiva se promediaron y a este promedio se le denomina umbral auditivo humano y se utiliza como referencia en las pruebas de audición, por ejemplo, la audiometría.
- dB SL: decibeles de sensación auditiva, Sensation Level (SL) por su significado en inglés. Su aplicación en Audiología es el número de decibeles que supera el umbral. En la prueba del habla, si el reconocimiento de palabras se prueba a 30 dB SL, eso significa que está a 30 dB por encima del umbral de audición, o sea, a (SL+HL) dB del 0 dB.

En las pruebas de reflejo acústico, un reflejo SL de 45 dB es aquel que se produce a 45 decibeles por encima del umbral de tono puro (HL). El umbral por encima del cual se encuentra cambia según la prueba. Debe estar definido el umbral utilizado.

## 3 Mediciones Ambientales y Métodos de Control de Ruido

### 3.1 Instrumentos de medición

#### 3.1.1 Sonómetros

Los principales instrumentos de medición de niveles sonoros son los sonómetros; existen otros de uso corriente como los analizadores de espectro y los dosímetros. Dentro de ellos hay que distinguir los de valores instantáneos de los integradores, siendo estos últimos aquellos que permiten obtener parámetros que dependen del tiempo. Un sonómetro que permite obtener el nivel sonoro continuo equivalente  $L_{eq}$  es un instrumento *integrador*, como también lo son los dosímetros, que se emplean para determinar la dosis porcentual de ruido recibida con respecto a la que resultaría de la exposición durante un tiempo predeterminado (en general la duración de la jornada laboral) a un cierto nivel sonoro continuo equivalente.

A nivel nacional se toman las normas europeas para definir los estándares de las clases de los sonómetros; actualmente la norma de referencia es UNE-EN IEC 61672:2013 y los clasifica en *Clases*.

Los sonómetros de *Clase 1* son instrumentos de precisión ( $\leq 0,7$  dB entre 100 Hz y 4 kHz) aptos para todo tipo de mediciones de campo, mientras que los de *Clase 2* son de menor precisión ( $\leq 1,0$  dB entre 100 Hz y 1,25 kHz), y se utilizan en mediciones generales de comprobación.

Desde el punto de vista temporal, cuando se miden niveles sonoros, los valores que arroja el sonómetro están afectados por el tiempo que media entre dos lecturas sucesivas del instrumento.

Cuanto mayor es el tiempo de integración, menos influencia tienen las fluctuaciones instantáneas de la presión sobre el valor del nivel sonoro continuo equivalente en el intervalo considerado y por el contrario, cuanto más corto es el período, más influencia tienen los picos de presión sobre el valor que se obtendrá.

En función del tipo de fenómeno que se quiera evidenciar con la medición, surgen así las denominadas *respuesta rápida* y *respuesta lenta*, que se diferencian en la constante del tiempo de integración: en respuesta lenta es de 1 s, mientras que en respuesta rápida es de 125ms.

A su vez, se define el nivel de pico  $L_{Peak}$  como el mayor valor instantáneo de presión sonora que ocurre en un intervalo de tiempo, expresado en dBC. Para determinar el  $L_{Peak}$  no se pasa por ninguna escala de respuesta temporal; el instrumento toma los valores que lee cada intervalos que suelen estar comprendidos entre 50 y 100 microsegundos (0,05 a 0,1 milisegundo). Los valores de pico tienen interés principalmente en lo que refiere a exposición laboral.

### 3.1.1.1 Compensación de frecuencias

El oído tiene una respuesta no lineal en relación a la intensidad del estímulo, que hace que para lograr una duplicación de la sensación se necesite mucho más que duplicar el estímulo, pero, además, dado que la sensibilidad del oído depende de la frecuencia, se intentó lograr que los instrumentos de medición pudieran reflejar con una única cifra la sensación de sonoridad producida por un sonido cualquiera.

Para lograr eso se propuso intercalar un filtro de ponderación de frecuencias con una curva de respuesta en frecuencia simétrica de las curvas de Fletcher y Munson (las *curvas isófonas*) para imitar la respuesta del oído humano, acentuando las frecuencias en las que el oído es más sensible y atenuando aquéllas en que es menos sensible.

El nivel de sonoridad se mide en fon, siendo que un tono puro de 40 dB a 1000 Hz corresponde a 40 fon.

La envolvente inferior de las curvas isófonas marca el umbral de la percepción y la envolvente superior indica el umbral del dolor. Para poder reproducir razonablemente el comportamiento del oído en relación a las distintas frecuencias e intensidades fue necesario definir varias curvas de ponderación frecuencial; de ellas, se analizarán y utilizarán las curvas A y C (Figura 3.1).

La primera fue creada procurando reproducir la curva de 40 fon, es decir, la que corresponde al nivel de sonoridad de un tono puro de 40 dB de nivel de presión sonora en 1.000 Hz, y se sigue usando porque a posteriori se observó que los valores medidos intercalando la curva de ponderación A están bien correlacionados con la molestia experimentada por las personas expuestas a ruidos intensos durante períodos considerables de tiempo, como suele ocurrir en los ambientes de trabajo industriales.

Las características más destacables de la escala de ponderación A son: la gran atenuación que produce sobre los sonidos de bajas frecuencias (graves); y la amplificación de los sonidos en el intervalo de 1000 Hz y 5000 Hz.

La curva C, que intenta reproducir la curva de nivel de sonoridad de 100 fon, se mantiene en uso, pero más que por su aplicación en sí misma, por la diferencia entre los niveles de presión sonora que describen una misma señal, expresados en dBA y dBC. Dado que la curva A atenúa las bajas frecuencias y la curva C no, si las lecturas en dBA y dBC son similares, es porque el contenido de la señal en bajas frecuencias no es importante. Si, en cambio, la lectura en dBC es mayor que la lectura en dBA y la resta aritmética de los niveles ( $C - A$ ) toma un valor de 10 dB o más, es un indicador de que la señal tiene un elevado contenido energético en bajas frecuencias.

Cuando no se aplican ponderaciones frecuenciales se dice que se aplica la escala Z, antes llamada “escala lineal”; los valores así medidos se expresan en dBZ.

La notación actual implica que todos los niveles se expresen en dB, colocando la ponderación como un subíndice junto al parámetro correspondiente ( $L_A$ ,  $L_{Aeq}$ ,  $L_{C90}$ , etc.).

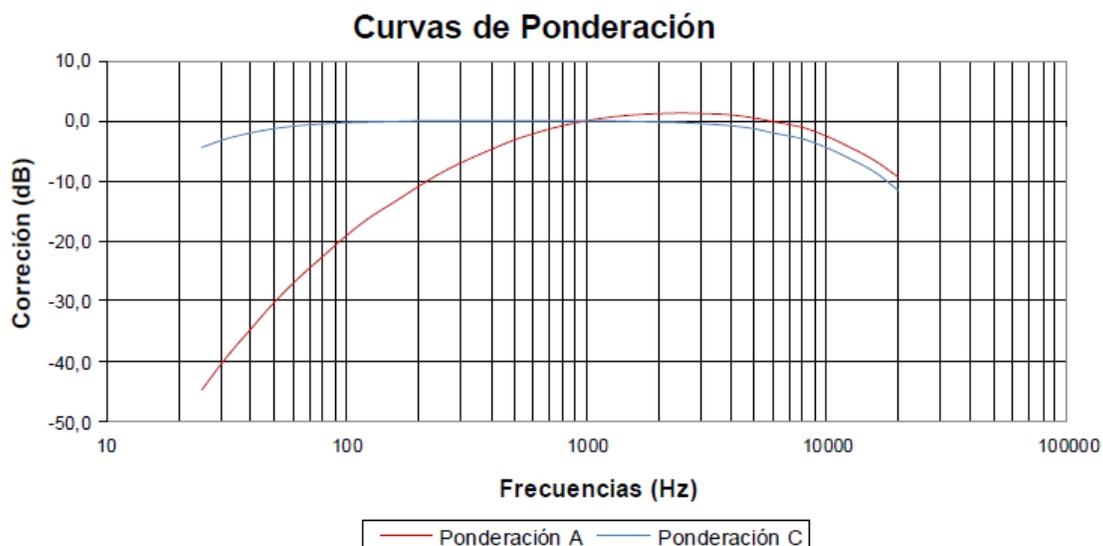


Figura 3.1. Curvas de ponderación frecuencial (tomado de González, 2017)

### 3.1.1.2 Precauciones al medir con un sonómetro

Cuando se mide el nivel en un puesto de trabajo, es recomendable que el micrófono se ubique en ausencia del trabajador y a la altura de su cabeza. En el caso de que su presencia sea necesaria, se situará el micrófono a una distancia aproximada de 10 - 40 centímetros del oído más expuesto.

Cuando no se pueda ubicar el micrófono a una distancia igual o inferior a 40 centímetros, se utilizará el dosímetro personal.

El instrumento de medición, siempre que sea posible, se apoyará sobre un trípode. Si no se dispone del mismo o no es viable esta opción, se recomienda que el técnico mantenga el brazo bien extendido durante la medición y se coloque de tal forma que no provoque un apantallamiento del ruido con su cuerpo.

### 3.1.2 Dosímetro personal

Los dosímetros personales están diseñados para ser portados por el trabajador, por lo que es recomendable el uso de los mismos cuando en el puesto de trabajo se observe alguna de las situaciones siguientes:

- El puesto implica movilidad y su patrón de trabajo es complejo o impredecible
- La variación del nivel de ruido es muy grande o impredecible a lo largo de la jornada
- Los valores obtenidos pueden ser sensiblemente diferentes al nivel de ruido ambiental por incidencias en la medición (roces del micrófono, golpes, gritos, etc.)

Por lo general, el dosímetro personal obtiene el nivel de presión acústica continuo equivalente con ponderación A y el nivel de pico.

Su precisión en la medición equivale a la de un sonómetro integrador de clase 2.

### **3.1.2.1 Medición con un dosímetro personal**

El micrófono se coloca a unos 10 centímetros del oído más expuesto al ruido y a unos 4 centímetros por encima del hombro, a fin de evitar roces con el cuello y la ropa.

Algunas recomendaciones para llevar a cabo una correcta medición con dosímetro personal son:

- Encenderlo cuando ya se ha colocado el micrófono y apagarlo antes de proceder a quitarlo para evitar contribuciones falsas, como pueden ser las provocadas por roces del micrófono con la ropa o golpes fortuitos.
- Informar a los trabajadores sobre la finalidad de dicho equipo, solicitando que eviten cualquier contacto con el micrófono o proferir gritos durante la medición.
- Completar la medición con un sonómetro integrador para cotejar los niveles proporcionados con el dosímetro personal.

Al finalizar la medición se registrará toda la información que pueda ser necesaria para una correcta evaluación del riesgo por exposición al ruido. La información mínima necesaria que ha de registrarse consiste en:

- Breve descripción del proceso, tareas realizadas por el trabajador y su duración aproximada.
- Posibles incidencias que puedan afectar a la medición o su interpretación.
- Fuentes de ruido secundarias, tales como los puestos de trabajo adyacentes en los que se genere ruido.
- El instrumento de medición y calibrador utilizado.
- La protección auditiva utilizada por el trabajador.

### **3.1.3 Calibrador acústico**

Es un dispositivo que emite un tono puro de un nivel de presión sonora dado, usualmente de 94, 104 o 114 dB a una frecuencia de 1.000 Hz, con el que se comprueba la aptitud de los instrumentos de medición (sonómetros integradores y dosímetros personales) al comparar el nivel de presión sonora obtenido por el instrumento de medición con el nivel emitido por el calibrador acústico.

En función de su precisión puede ser de dos clases:

- Clase 1. Comprueba instrumentos de medición de clase 1 y 2.
- Clase 2. Comprueba instrumentos de medición de clase 2.

*Comprobación in situ del sonómetro integrador y del dosímetro personal:*

Antes y después de la medición, se ha de comprobar (no ajustar) que el sonómetro integrador o el dosímetro personal obtienen un valor correcto del nivel de presión sonora que genera el calibrador acústico.

Si dicho valor supera las tolerancias admitidas por la normativa referente a los instrumentos de medición, este debe ser revisado por el fabricante.

En caso de que sea necesario un ajuste del equipo, deberá efectuarse una verificación posterior. Cuando se requiere una reparación de un instrumento, lo normal es que el equipo se devuelva calibrado post-reparación.

## 3.2 Medidas de Control de Ruido

### 3.2.1 Generalidades

En teoría todos los materiales, tienen algún efecto en la propagación de ondas acústicas. Sin embargo, aquí solo se revisarán aquellos empleados en la modificación del ambiente acústico para mejorar las condiciones de trabajo del personal y/o la comunidad.

Estos materiales trabajan redirigiendo la energía acústica y vibracional o convirtiendo esa energía en energía de otro tipo, generalmente energía térmica.

Conviene discriminar entonces, aislamiento de absorción:

Aislamiento: impedir la propagación de la energía acústica incidente.

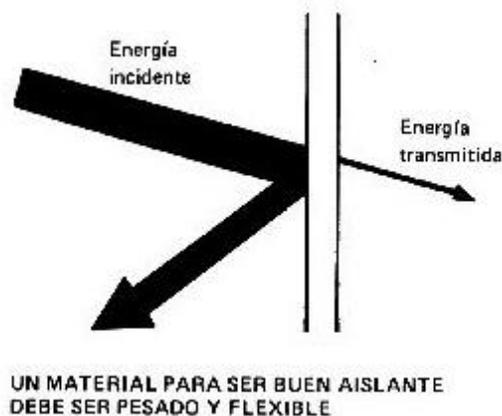
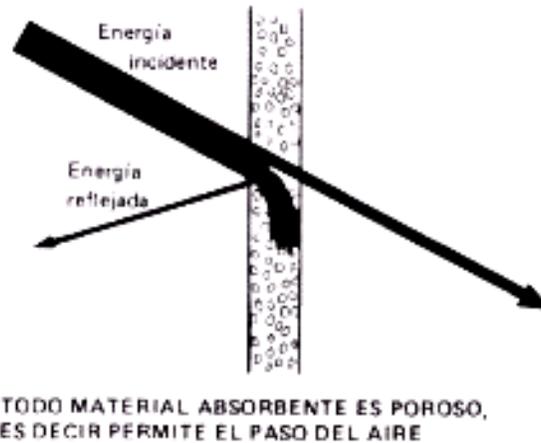


Figura 3.2. Comportamiento de material aislante (tomado ANDMAT 2009)

Absorción: transformación de parte de la energía incidente en calor.



**Figura 3.3. Comportamiento de material absorbente (tomado de ANDMAT 2009)**

Aislar acústicamente es proporcionar una protección al recinto contra la transmisión del ruido generado.

Atendiendo al medio de transmisión del ruido existen dos grupos:

- Aislamiento acústico a ruido aéreo: el objetivo es que las ondas sonoras pierdan la mayor cantidad de energía posible al atravesar el cerramiento.

El aislamiento acústico a ruido aéreo de un elemento constructivo se puede expresar de tres maneras:

- en forma gráfica; representando el aislamiento ( $R$  en dB) en función de la frecuencia ( $f$  en Hz)
- en forma tabulada; dando valores de frecuencias y aislamiento
- mediante un único valor ( $R_w$  en dB)

Los parámetros que definen el aislamiento a ruido aéreo expresados en dBA son:

- $R_A$  índice global de reducción acústica de un elemento (valor medido en laboratorio). A mayor valor de  $R_A$ , mejor aislamiento.
- $D_{nTA}$  diferencia de presión acústica entre recintos interiores (valor medido in situ). A mayor valor de  $D_{nTA}$ , mejor aislamiento.
- $D_{2m,n,T,Atr}$  diferencia de presión acústica en fachadas y cubiertas a ruido exterior de tráfico y aeronaves (valor medido in situ). A mayor valor de  $D_{2m,n,T,Atr}$ , mejor aislamiento.

- Aislamiento acústico a ruido de impacto: el objetivo es cortar la transmisión de vibraciones mediante la interposición de materiales elásticos.

- las características de la fuente de ruido, por ejemplo, tipo de objeto que golpea el suelo,

- la estructura del suelo,

- el tipo de revestimiento o acabado del suelo; por ejemplo. moquetas o revestimientos blandos absorben parte de la energía del impacto.

Los parámetros que definen el aislamiento a ruido de impacto son:

- $L_{nw}$  nivel global de presión de ruido de impacto normalizado medido en laboratorio, en dB. A menor valor de  $L_{nw}$ , mejor aislamiento.
- $L'_{nT,w}$  nivel global de presión de ruido de impacto normalizado medido in situ, en dB. A menor valor de  $L'_{nT,w}$ , mejor aislamiento.

### 3.2.2 Resonadores de Helmholtz

La disipación de energía se produce cuando las ondas sonoras hacen oscilar el aire contenido en las pequeñas cavidades que presenta el material. Su coeficiente de absorción es muy elevado, pero abarca una banda de frecuencias muy estrecha, en la zona de bajas frecuencias.

Poniendo material poroso en el interior de las cavidades se amplía la anchura de la banda, pero disminuye el coeficiente de absorción.

### 3.2.3 Paneles rígidos o membranas acústicas

Estos sistemas se basan en el hecho de que una onda acústica es parcialmente absorbida cuando encuentra en su camino cuerpos capaces de vibrar en fase con la frecuencia incidente.

Si el cuerpo que se encuentra por su geometría favorece la vibración en algunas frecuencias específicas, tendrá absorción selectiva en dichas frecuencias.

Parte de la energía sonora incidente se convierte en energía mecánica y se disipa en forma de calor; por eso, los paneles acústicos absorben sonido. Pero al entrar el panel en vibración, él mismo actúa como radiador sonoro, por lo que en estos sistemas el coeficiente de absorción no suele ser superior a 0,5.

### 3.2.4 Absorbentes funcionales

Absorbentes funcionales son elementos que tienen alguna función en el ambiente en que están, como cortinados, alfombras, decorados, mobiliario, etc.

Estos ofrecen una mayor absorción de la que puede obtenerse con absorción de los muros y son empleados a menudo debido a las limitaciones para instalar los paneles directamente sobre las superficies.

Su comportamiento está determinado no solo por las propiedades intrínsecas de absorción de los materiales de los que están contruidos sino también por el espaciamiento relativo y, en menor grado, a su forma.

## 4 Mecanismo de audición y afectaciones a la salud

### 4.1 Anatomía del Oído

A efectos de poder comprender las afectaciones que pudieren ocurrir a partir de la exposición a elevados niveles de presión acústica, es necesario el conocimiento del órgano receptor del sonido.

La descripción anatómica del oído se realiza en base al documento elaborado por los Dr. Caro y San Martín en el documento Anatomía y Fisiología del Oído (2020)<sup>2</sup>.

El oído humano se encuentra dividido en: oído externo, oído medio y oído interno (Figura 4.1).

#### 4.1.1 El oído externo

El oído externo está formado por el pabellón auricular y el conducto auditivo externo. El pabellón auricular es una estructura constituida por cartílagos cubiertos de piel. El conducto auditivo externo es un conducto que se ubica entre el pabellón auricular y la membrana timpánica. Su largo es de 25 a 30 mm y se divide en conducto auditivo externo cartilaginoso, que ocupa un tercio del conducto y en conducto auditivo externo óseo, el cual ocupa los dos tercios restantes.

#### 4.1.2 El oído medio

El oído medio se encuentra entre el oído externo y el oído interno. Es un espacio de aire revestido por mucosa respiratoria y en cuyo interior se encuentra la cadena osicular. Dicha cadena está formada por el martillo, el yunque y el estribo. El martillo está íntimamente adherido a la membrana timpánica, de modo que es imposible un movimiento de ésta sin un movimiento del martillo. La articulación del martillo con el yunque y la de este con el estribo son rígidas, de modo que todo el movimiento de estimulación de la membrana timpánica se trasmite al estribo.

El estribo se encuentra en un espacio conocido como ventana oval, la que está cerrada por la platina del estribo. En el espacio de aire entre la ventana oval y la platina se encuentra un ligamento anular que cierra este compartimento de aire (oído medio del oído interno).

La membrana timpánica es una membrana semitransparente que separa el oído externo del oído medio. Está formada por la pars tensa (constituida por piel, fibras elásticas radiales y circulares y por mucosa) y por la pars flácida (sólo piel y mucosa). La pars tensa es la más amplia y prácticamente se encuentra en los dos tercios de la membrana timpánica. La pars flácida se encuentra en la región superior de la membrana timpánica.

---

<sup>2</sup> <https://medicina.uc.cl/wp-content/uploads/2020/03/6.-Anatomia-y-fisiologia-del-oido-Patologi%CC%81a-oido-externo-Evaluacion-auditiva.pdf>

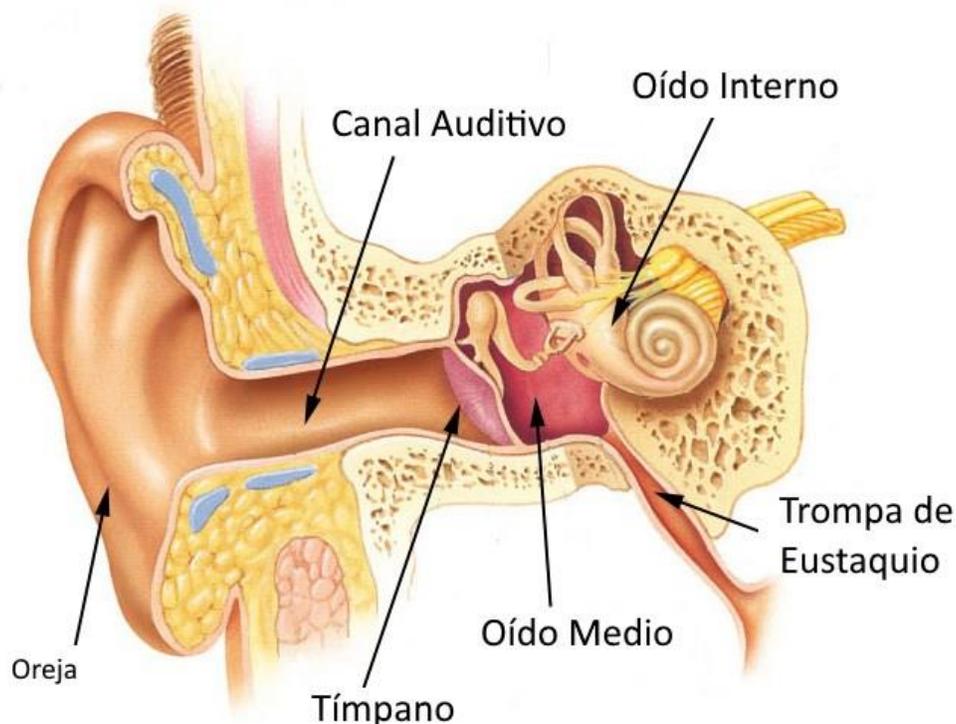


Figura 4.1. Partes del Oído (tomado de ESTAIRES: <https://centroauditivoestaire.com/blog/salud/partes-del-oido-interno.php>)

### 4.1.3 El oído interno

El oído interno está formado en un espacio que deja el hueso temporal en la región denominada hueso petroso. Al espacio se le denomina laberinto óseo y a la estructura membranosa que existe en su interior se le denomina laberinto membranoso. Entre el laberinto óseo y el membranoso existe un líquido denominado perilinfa. En el interior del laberinto membranoso existe otro líquido denominado endolinfa, producido por una estructura llamada estría vascular.

En el oído interno existen dos órganos, el auditivo o coclear (ubicado en la cóclea o caracol) y el órgano del equilibrio o vestibular. La región coclear es anterior y la vestibular es posterior. El laberinto membranoso anterior (coclear) presenta la forma de un conducto que da dos y media vueltas en relación a una estructura central o modiolo y contiene en su interior al Órgano de Corti, que es un mecánico receptor.

Este órgano contiene a las células ciliadas (externas e internas) cuyas bases descansan sobre la membrana basilar, la cual es una estructura pseudo-resonante con diferente ancho, rigidez, masa, amortiguación y dimensiones del conducto en diferentes puntos a lo largo de su longitud. Las propiedades de la membrana en un punto dado a lo largo de su longitud determinan su frecuencia característica, la frecuencia a la que es más sensible a las vibraciones del sonido.

La membrana basilar es más ancha (0.42–0.65 mm) y menos rígida en el ápice de la cóclea, y más estrecha (0.08–0.16 mm) y más rígida en la base. Los sonidos de alta frecuencia se localizan cerca de la base de la cóclea, mientras que los sonidos de baja frecuencia se localizan cerca del ápice.

En el otro extremo de estas células se encuentran sus cilios, los que se encuentran en contacto con la membrana tectoria. Las células ciliadas reciben inervación del ganglio espiral y la unión de estas terminaciones nerviosas forman el nervio coclear, el que se dirige al tronco encefálico en un conducto óseo conocido como conducto auditivo interno. Posteriormente la vía auditiva asciende hacia la corteza cerebral haciendo sinapsis en varios núcleos.

## 4.2 Afectación a la salud

Habitualmente estamos expuestos a sonidos en nuestro ambiente, tanto de aparatos electrónicos, como de electrodomésticos y tráfico. Normalmente oímos estos sonidos a niveles que no afectan nuestra audición. Sin embargo, los ruidos muy altos pueden ser dañinos, aunque duren poco o mucho tiempo. Estos ruidos pueden dañar las estructuras delicadas del oído interno, causando pérdida de audición inducida por el ruido (por sus siglas en inglés: noise-induced hearing loss, NIHL).

La pérdida de audición inducida por el ruido puede ser inmediata o puede tomar mucho tiempo hasta ser detectada, pudiendo ser temporal o permanente y pudiendo afectar uno o ambos oídos; puede ocurrir de una sola vez por un sonido intenso, como el de una explosión o por la exposición continua a sonidos fuertes. En este estudio en particular se aborda la afectación poblacional por ruido laboral, sin desconocer las connotaciones de otros tipos de afectaciones puntuales tanto recreativas como de otros orígenes a nivel individual.

Algunas actividades no laborales que pueden poner en riesgo de desarrollar pérdida de audición inducida por el ruido son: tiro al blanco y la cacería, escuchar música con auriculares a un volumen alto, tocar en una banda e ir frecuentemente a conciertos u otros eventos con la música fuerte, entre otras. En el hogar, los ruidos dañinos pueden venir de fuentes como la cortadora de césped, el soplador de hojas y las herramientas de carpintería.

Es poco frecuente que los sonidos de 70 decibeles con ponderación A (dBA) o menos causen pérdida de audición, aun cuando uno esté expuesto a ellos por mucho tiempo. Sin embargo, exponerse por mucho tiempo o repetidamente a sonidos de 85 dBA o más puede causar pérdida de audición y como regla general: mientras más alto sea el nivel de ruido, más rápido se desarrolla la pérdida de audición inducida por el ruido.

### 4.2.1 Pérdida de audición

#### 4.2.1.1 Definiciones

Se denomina sordera o hipoacusia al déficit funcional que ocurre cuando un sujeto pierde capacidad auditiva, en mayor o menor grado.

Se llama umbral auditivo al estímulo sonoro más débil (de menor intensidad) que es capaz de percibir un determinado oído.

La hipoacusia es la pérdida parcial de la capacidad auditiva. Esta pérdida puede ser desde leve o superficial hasta moderada, y se puede dar de manera unilateral o bilateral dependiendo de que sea en uno o ambos oídos.

Según la *Bureau International d'Audiophonologie* (BIAP 02/1) la pérdida tonal media se calcula a partir de la pérdida en dB en las frecuencias 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz y 4000 Hz y se clasifica según los criterios a continuación.

Toda frecuencia no percibida es anotada a 120 dB de pérdida. La suma se divide por 4 y se redondea a la unidad superior.

En el caso de sordera asimétrica más de 15 dB, el nivel medio de la pérdida en dB se multiplica por 7 para el oído mejor y por 3 para el oído peor. La suma se divide por 10.

#### ***I. Audición infranormal.***

La pérdida tonal media no sobrepasa 20 dB. Se trata eventualmente de una pérdida tonal ligera sin incidencia social.

#### ***II. Deficiencia auditiva ligera.***

La pérdida tonal media está comprendida entre 21 dB y 40 dB. El habla con voz normal es percibida, sin embargo se percibe difícilmente con voz baja o lejana. La mayoría de los ruidos familiares son percibidos.

#### ***III. Deficiencia auditiva mediana.***

Primer grado: La pérdida tonal media está entre 41 y 55 dB.

Segundo grado: La pérdida tonal media está entre 56 y 70 dB.

El habla es percibida si se eleva un poco la voz. El sujeto entiende mejor si mira cuando le hablan. Se perciben aún algunos ruidos familiares.

#### ***IV. Deficiencia auditiva severa.***

Primer grado: La pérdida tonal media está entre 71 y 80 dB.

Segundo grado: La pérdida tonal media está entre 81 y 90 dB.

El habla es percibida con voz fuerte cerca del oído. Los ruidos fuertes son percibidos.

#### ***V. Deficiencia auditiva profunda.***

Primer grado: La pérdida tonal media está entre 91 y 100 dB.

Segundo grado: La pérdida tonal media está entre 101 y 110 dB.

Tercer grado: La pérdida tonal media está entre 111 y 119 dB. Ninguna percepción de la palabra. Solo los ruidos muy potentes son percibidos.

#### **VI. Deficiencia auditiva total - cofosis.**

La pérdida tonal media es de 120 dB.

No se percibe nada

#### **4.2.1.2 Causas Congénitas**

Las causas congénitas determinan la pérdida de audición en el momento del nacimiento o poco después, puede obedecer a factores hereditarios o a complicaciones durante el embarazo y el parto.

En el curso del embarazo: rubéola materna, sífilis u otras infecciones, uso inadecuado de medicamentos ototóxicos (como aminoglucósidos, medicamentos citotóxicos, antipalúdicos y diuréticos).

En el parto: bajo peso al nacer, asfixia del parto e ictericia grave durante el período neonatal, que puede lesionar el nervio auditivo del recién nacido.

#### **4.2.1.3 Causas Adquiridas**

Estas causas pueden provocar la pérdida de audición a cualquier edad y son relevantes de analizar dado que pueden estar presentes en alguna medida en integrantes del colectivo en estudio.

Si bien, como se analizará más adelante, en la norma que se aplicará está prevista la corrección por esta causa, no debe perderse de vista la pérdida de audición relacionada con el envejecimiento (presbiacusia), que se debe a una degeneración de las células sensoriales.

Algunas enfermedades infecciosas, por ejemplo la meningitis, el sarampión y la parotiditis, pueden ocasionar pérdida de audición, principalmente en la niñez, pero también posteriormente.

La infección crónica del oído, que generalmente se manifiesta por supuración ótica, puede causar pérdida de audición, así como la presencia de líquido en el oído (otitis media) puede causar pérdida de audición.

El uso de medicamentos ototóxicos puede provocar daños en el oído interno.

Los traumatismos craneoencefálicos o de los oídos pueden causar pérdida de audición.

La obstrucción del conducto auditivo producida por cerumen o cuerpos extraños puede causar pérdida de audición a cualquier edad.

## 4.2.2 Otras afectaciones a la salud

Desde el punto de las afectaciones relacionadas a la exposición a ruido específicamente se pueden enumerar:

### 4.2.2.1 Molestia

La molestia es principalmente una respuesta subjetiva ante un sonido o vibración. La molestia puede estar relacionada con la singularidad de un sonido, sus características físicas espectrales y temporales, e incluso si una persona tiene control sobre el sonido.

Tradicionalmente, no se ha definido la “molestia” formalmente, ya que parece ser el resultado de muchos factores intrínsecos y extrínsecos, puede depender de la dosis y es muy variable entre diferentes grupos y edades.

Sin embargo, la molestia puede estar relacionada con algunas medidas objetivas. Esta fue la base de muchas investigaciones en las décadas de 1950, 1960 y 1970, donde se sugirió la unidad "noy" como una posible medida de la molestia asociada con el ruido de aeropuertos. La magnitud que se expresa en noy es la ruidosidad. Desde el punto de vista espectral, la molestia parece ser similar a un ruido ponderado en dB A en el rango de frecuencias por debajo de 1000 Hz, por encima de esta frecuencia, la distribución espectral se aproxima mejor la escala de ponderación D, que había sido creada para aplicar en el caso de ruido de aeropuertos.

Van Gerven et al. (2009), al examinar los efectos de la molestia por ruido ambiental a lo largo de la vida, encontraron que en casi 63.000 personas entre las edades de 15 y 102 años, hubo una respuesta dependiente de la edad. Los resultados revelaron un patrón de "U" invertida, en el que los encuestados más jóvenes y mayores informaron los niveles más bajos de molestia y los de alrededor de 45 años informaron la molestia más significativa.

### 4.2.2.2 Efectos cardiovasculares

La exposición al ruido está asociada con elevaciones en la presión arterial, principalmente diastólica, y en general, este efecto parece no disminuir pese al acostumbramiento a la exposición con el tiempo; esto está relacionado con la posible explicación de la vasoconstricción inducida por el ruido y sus efectos sobre el sistema sanguíneo central.

Basner et al. (2014) describen un modelo de estrés generalizado, en el que contribuyen tanto el estrés consciente provocado por una respuesta emocional debido a la incomodidad percibida ("vía indirecta") como las respuestas fisiológicas no conscientes entre la vía auditiva central y diferentes partes del sistema nervioso central ("vía directa").

La exposición crónica a largo plazo puede crear una carga alostática (se refiere a la carga acumulada de estrés crónico y eventos de la vida, cuando el estrés ambiental excede la capacidad de una persona para afrontarlo) que altera las condiciones homeostáticas de una persona en este modelo. Esto, a su vez, puede afectar el metabolismo y el sistema cardiovascular.

Walker et al. (2016), sobre un estudio de exposición controlada a ruido de 85 dB a un grupo de hombres sanos, concluye que la exposición al ruido y, en particular, al ruido de baja frecuencia, tiene un impacto negativo en la VFC (variabilidad en frecuencia cardíaca). Las frecuencias del ruido deben tenerse en cuenta al evaluar los impactos de la exposición en la salud cardiovascular.

#### **4.2.2.3 Interrupciones del sueño debido al ruido**

De manera similar a los estudios sobre la interacción entre el ruido ambiental y las relaciones cardiovascular/estrés, el estudio de las interrupciones del sueño debido al ruido ambiental de bajo nivel puede ser muy problemático dado que la exposición ambiental de bajo nivel puede verse como más problemática para algunos grupos de personas que para otros y, de hecho, durante algunas horas del día; el horario de 18 a 21 horas es, sorprendentemente, el más molesto (Bullen and Hede, 1983).

Históricamente, el estudio de las interrupciones del sueño se basaba en informes subjetivos y cambios en las fracciones de sueño REM frente a no REM y alteraciones en la actividad de electroencefalografía (EEG) de los sujetos y la potencia general del EEG. Sin embargo, se debe tener cuidado al interpretar las medidas "generales" o "tiempo de sueño completo", ya que puede haber muchos cambios transitorios que afectan el número final.

Tampoco queda claro si los datos pueden extrapolarse por igual a todos los grupos de la sociedad. Por ejemplo, el aumento de la edad se correlaciona con un mayor despertar del sueño debido al ruido ambiental de bajo nivel, al igual que los trabajadores por turnos, especialmente si se consume alcohol y tabaco.

A modo de ejemplo, en una investigación experimental, 23 participantes, cada uno de los cuales durmió durante seis noches en el laboratorio, fueron expuestos a 36 trenes de carga simulados que pasaban por noche solo con vibración, solo con ruido (49,8 dBA), o con vibración y ruido simultáneamente. Una cuarta noche de exposición involucró 52 pases con vibración y ruido simultáneos. La probabilidad de despertar fue mayor después de todas las exposiciones, incluidas las vibraciones solas, que la probabilidad de reacción espontánea. Los efectos de la exposición a la vibración y la exposición al ruido sobre los cambios en la etapa del sueño y los despertares fueron directamente aditivos. (Elmenhorst et al 2019)

La exposición al ruido nocturno también induce efectos secundarios; estos son efectos que se pueden medir el día siguiente a la exposición nocturna, mientras el individuo está despierto. Los efectos secundarios incluyen una reducción de la percepción de la calidad del sueño; aumento de la fatiga; estado de ánimo deprimido o de pobre bienestar; y disminución del rendimiento.

Los efectos a largo plazo sobre el bienestar psicosocial también se han relacionado con la exposición al ruido durante la noche. La molestia por ruido durante la noche aumentó la molestia expresada por las personas en las siguientes 24 h. Diversos estudios también han demostrado que las personas que viven en áreas expuestas al ruido nocturno tienen un mayor uso de sedantes o somníferos. Otros efectos conductuales del ruido nocturno informados con frecuencia incluyen el cierre de ventanas en el dormitorio e incluso de uso de protección auditiva personal. Los grupos sensibles incluyen ancianos,

trabajadores en turnos, personas especialmente vulnerables a trastornos físicos o psíquicos (WHO, 2018).

#### **4.2.2.4 Problemas cognitivos/educativos debido al ruido**

A diferencia de las áreas temáticas de los efectos del ruido sobre el estrés y las interrupciones del sueño, los resultados del ruido ambiental de bajo nivel sobre la cognición y la educación/lenguaje son más directos. Desde principios hasta mediados de la década de 1970, comenzaron a aparecer estudios en un entorno natural. Cohen, Clark y Singer (1973) pudieron demostrar que los niños que vivían en los pisos inferiores de los apartamentos, más cerca de las autopistas ruidosas, se desempeñaban peor en las tareas de lectura escolar que los niños de la misma edad que vivían en apartamentos de mayor altitud, más lejos de las fuentes de ruido ambiental.

Bronzaft y McCarthy (1975) publicaron un estudio con el revelador título "El efecto del ruido elevado del tren en la capacidad de lectura". Los datos se obtuvieron de 161 alumnos de segundo, cuarto y sexto grado en una escuela pública en la ciudad de Nueva York que se encuentra aproximadamente a 220 pies de una vía de metro elevada. Por esta vía pasan 80 trenes todos los días de la semana entre las 9:00 a.m. y las 3:00 p.m. El nivel medio de ruido en el aula es de unos 59 dB; cuando pasa un tren, el nivel sube a 89 dB. Se les entregó un cuestionario de actitud sobre el ruido de los trenes y sobre otras fuentes de perturbación o interferencia con el trabajo escolar, y se compararon los puntajes de la prueba Metropolitan Achievement Reading Test obtenidos de los registros escolares de 1971-1974 entre clases emparejadas en los lados silenciosos y ruidosos de la escuela. Los puntajes de 9 de las 10 clases en el lado ruidoso del edificio tendieron a retrasarse 3-4 meses (basado en un año escolar de 10 meses) con respecto a sus contrapartes del lado tranquilo.

#### **4.2.2.5 Vibraciones**

Por las características físicas del ruido, una afectación a la salud es la asociada a las vibraciones. Cabe distinguir entre las que afectan al cuerpo entero, de aquellas que están asociadas a herramientas manuales.

Las vibraciones mecánicas procedentes de herramientas o procesos motorizados que "entran" en el cuerpo a través de las manos se denominan "Vibraciones transmitidas a la mano" o "Vibraciones Mano-Brazo", y su efecto se denomina "síndrome de la vibración mano-brazo", referido a un grupo de signos y síntomas que causan trastornos vasculares, neurológicos, musculoesqueléticos y otros. El más conocido es el fenómeno de Raynaud o Dedo Blanco Inducido por Vibración.

Cuando una gran parte del peso del cuerpo humano descansa en una superficie vibrante se define la vibración del cuerpo completo. Puede ser en posición sentado, de pie o yacente. Una exposición prolongada está fuertemente asociada con lumbalgias, hernia de disco intervertebral (HDIV), espondilosis, osteocondritis y artrosis.

## 4.3 Elementos de Protección Personal (EPP)

### 4.3.1 Generalidades

La selección y el dimensionamiento que se exponen a continuación están basados en el documento Guía para selección y control de protectores auditivos (Ministerio Salud Chile, 2012).

Se diferencian dos diseños básicos cuya misión primordial es atenuar el sonido a niveles aceptables, conforme a reglamentación nacional, de forma cómoda y eficaz para el usuario.

- Orejeras (o protectores de copa) pasivas: con arnés de cabeza o para acoplar a casco.



Figura 4.2. Distintos tipos de Orejeras tomado de Ministerio de Salud, Chile (2012)

- Tapones pasivos: Son protectores auditivos que se introducen en el conducto auditivo o que lo cubren, para bloquear su entrada.

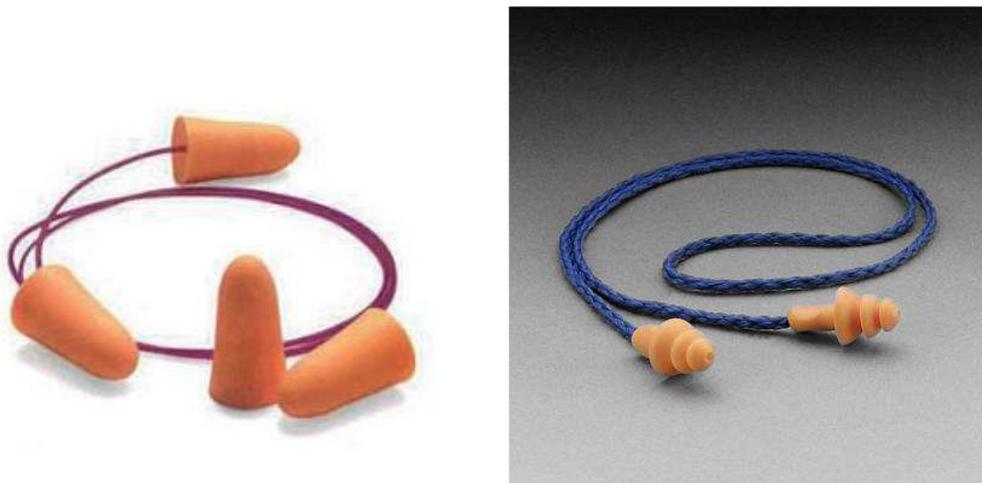


Figura 4.3. Distintos tipos de tapones (moldeables o premoldeados) tomado de Ministerio de Salud, Chile (2012)

### 4.3.2 Selección de protectores auditivos

Una adecuada selección en protección auditiva es aquella que conjuga una atenuación acústica suficiente para las características del ruido presente, con un protector auditivo apropiado a las condiciones del puesto de trabajo.

Más allá de los niveles de protección, los cuales serán discutidos en el apartado siguiente, se debe tener en cuenta que existen diversos factores que es necesario tener en cuenta a la hora de realizar una selección del equipo de protección auditiva, para conseguir elegir el más idóneo a los requerimientos de la situación que se requiere proteger.

El principal criterio a la hora de seleccionar un EPP para protección auditiva es conocer los niveles sonoros a los que están expuestos los trabajadores para poder cuantificar el nivel de protección que se necesita. Una vez conocido el nivel de atenuación que se precisa, se tendrán en cuenta otro tipo de condiciones que favorecerán que la elección sea la adecuada.

Las características del ruido y los factores acústicos que se deben tener en cuenta son:

- Nivel de presión acústica en escala A de exposición.
- Frecuencias que componen el ruido del lugar. Si el ruido predominante es de baja frecuencia, deberá considerarse el uso de protectores auditivos con reducción activa del ruido.
- Características impulsivas del ruido (fluctuación del ruido.) Si bien puede usarse prácticamente cualquier tipo de protector auditivo frente a ruidos continuos, en entornos de ruido fluctuante o impulsivo podría ser más adecuado considerar protectores dependientes del nivel con restauración del sonido<sup>3</sup>.
- Necesidades de comunicación y de percepción de señales de advertencia. El protector auditivo seleccionado no debe afectar de forma negativa al desempeño del trabajador en relación a la necesidad de mantener la comunicación con compañeros, percepción de señales de peligro o de cualquier otro sonido relevante en el lugar de trabajo.

Además, también es conveniente tener en cuenta ciertas variables que pueden condicionar el tipo de protector auditivo a seleccionar. Así, se debe prestar especial atención a factores del entorno laboral y condiciones ambientales, tales como:

- Tiempo de uso. Si se necesita utilizar protección auditiva durante largos períodos, se deberá tener en cuenta el peso del protector u cualquier otro tipo de condiciones que puedan generar molestias al trabajador.

---

<sup>3</sup> Incorporan un sistema electrónico que amplifica los sonidos de bajos niveles sonoros. Al incrementarse el nivel de presión sonora del exterior, se corrige y controla el nivel del sonido reproducido.

- Temperatura. Los ambientes cálidos y húmedos, o las tareas de gran carga física conllevan una sudoración que puede tornarse irritante en el caso de usar orejeras. En estos casos se utilizarán preferiblemente tapones.
- Presencia de contaminación de aire o suciedad. Además de las irritaciones cutáneas que pueden ocasionar estos factores, en el caso del uso de tapones, los contaminantes podrían invadir el canal auditivo.
- Maquinaria en movimiento. Si existen vehículos en movimiento, se deberá considerar el uso de protectores dependientes del nivel. Cuando haya maquinaria que pueda producir atrapamientos, se evitarán los tapones con cordones.

### 4.3.3 Selección según niveles de exposición (basado en NTP 638)

#### 4.3.3.1 Definiciones

Para la adecuada selección de protectores auditivos, se realiza el cálculo de la protección que ofrece un protector auditivo, (reducción predicha del nivel de ruido PNR), y del valor del nivel de presión sonora efectivo ponderado A ( $L_A'$ , que corresponde al nivel que recibe el oído protegido por el EPP en cuestión), cuando se utiliza el protector en un ambiente caracterizado por un nivel de presión sonora  $L_A$ .

$$PNR = L_A - L_{A'}$$

Se definen por otra parte los siguientes parámetros propios del protector auditivo:

- Atenuación a alta frecuencia (H), representa el valor de PNR cuando la diferencia entre los niveles de presión sonora del ruido ambiental ponderados A y C es  $L_C - L_A = -2$  dB.
- Atenuación a media frecuencia (M), representa el valor de PNR cuando la diferencia entre los niveles de presión sonora del ruido ambiental ponderados A y C es  $L_C - L_A = +2$  dB
- Atenuación a baja frecuencia (L), representa el valor de PNR cuando la diferencia entre los niveles de presión sonora del ruido ambiental ponderados A y C es  $L_C - L_A = +10$  dB.
- Índice de reducción único (SNR), es el valor que se resta del nivel de presión sonora ponderado C ( $L_C$ ) para estimar el nivel de presión sonora efectivo ponderado A ( $L_A'$ ).
- Protección asumida de un protector ( $APV_f$ ) es un valor por banda de octava obtenido de restar del valor medio de atenuación por banda de octava ( $m_f$ ), en diferentes ensayos de laboratorio y  $\sigma$  la desviación típica obtenida en dichos ensayos.

$$APV_f = m_f - n\sigma$$

El valor de  $APV_f$  así calculado es la atenuación de que se dispondrá, con una cierta probabilidad en función del valor de  $n$  definido (Tabla 4.1).

Ef. Prot. (%)	Valor n
75	0.67
80	0.84
84	1.00
85	1.04
90	1.28
95	1.64
99.5	2.58

**Tabla 4.1 Valores de n para el cálculo de APV**

Dado que el valor de  $APV_f$  interviene en el cálculo de PNR, H, M, L y SNR, es básico conocer el porcentaje de eficacia utilizado.

Habitualmente, salvo que se indique en forma expresa el porcentaje como por ejemplo H95 ó PNR80 donde los porcentajes son 95 % y 80 % respectivamente, la eficacia es del 84 % ( $n=1$ ).

La información que suministra el folleto informativo de los protectores auditivos incluye los valores de H, M, L, SNR y  $APV_f$  para las octavas de frecuencia central entre 63 Hz y 8000 Hz.

Los valores de H, M y L, que son independientes del ruido ambiental, se calculan a partir del comportamiento del protector ( $APV_f$ ) respecto a ocho espectros de ruido diferentes y normalizados.

El valor del índice de ruido único (SNR) se obtiene para cada protector a partir de la protección asumida  $APV_f$  y el efecto que ésta tiene sobre un ruido rosa (ruido que, entre otras características, posee iguales niveles de presión acústica en todas las octavas) cuyo espectro está normalizado. Por este motivo, el SNR es independiente del ruido ambiental.

#### **4.3.3.2 Método de las bandas de octava**

Requiere conocer la composición espectral del ruido ambiental.

$$LA' = 10 \log \sum_{63}^{8000} 10^{0.1(L_f + A_f - APV_f)}$$

Donde:

$A_f$ : ponderación A en cada octava

$L_f$ : nivel de presión sonora por octava, sin ponderar.

El valor resultante de  $LA'$  debe redondearse al entero más próximo.

#### **4.3.3.3 Método de H, M y L**

El método requiere conocer los valores de presión acústica ponderados A y C, así como los valores de H, M y L del protector auditivo.

Se calcula el valor de PNR según la diferencia entre  $L_C$  y  $L_A$  de la siguiente manera:

- Si la diferencia  $L_C - L_A \leq 2$  dB

$$PNR = M - \frac{(H - M)}{4} (L_C - L_A - 2)$$

- Si la diferencia  $L_C - L_A \geq 2$  dB

$$PNR = M - \frac{(M - L)}{8} (L_C - L_A - 2)$$

El valor resultante de  $L_A'$  debe redondearse al entero más próximo.

## 5 Métodos de evaluación de pérdida auditiva

Generalidades y procesos típicos de pérdidas auditivas por trauma sonoro

Este apartado se basa en la descripción del proceso de pérdida auditiva inducida por ruido expuesta en la guía de buenas prácticas NTP 136.

En el trauma sonoro se afectan las frecuencias agudas, principalmente la de 4.000 Hz; sin embargo, hay ruidos que pueden afectar a las frecuencias vecinas de 3.000 Hz y de 6.000 Hz.

Este trauma da en la audiometría una caída a la frecuencia 4.000 Hz pero una recuperación a la frecuencia 6.000 Hz, es lo que se llama escotoma traumático tipo 1.

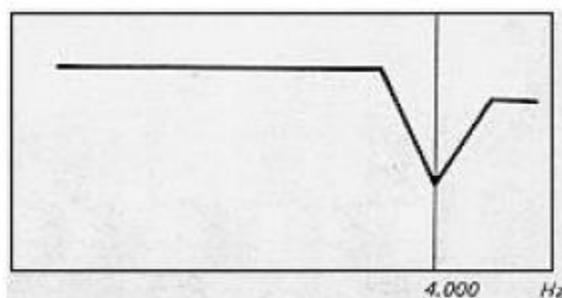


Figura 5.1. Escotoma traumático tipo I (Tomado de NTP 136, España)

Este escotoma se profundiza con los años de trabajo y la edad del trabajador, se va ampliando y esta imagen va convirtiéndose en una cubeta- traumática tipo 2.

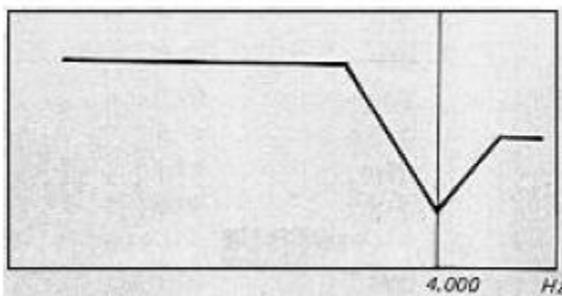


Figura 5.2. Escotoma traumático tipo II (Tomado de NTP 136, España)

Al incrementarse más el trauma se produce una falta de recuperación en la frecuencia 6.000 Hz, cada vez más evidente y una pérdida auditiva en la frecuencia 1.000 Hz y progresivamente en todas las frecuencias graves hasta la 250 Hz, tipo 3.

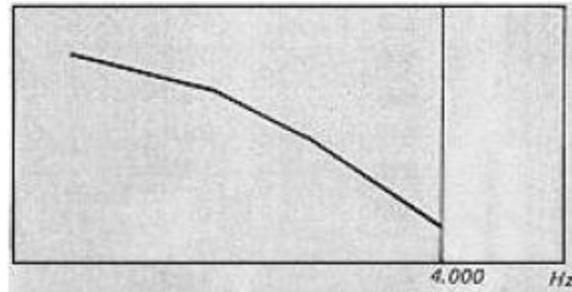


Figura 5.3. Escotoma traumático tipo III (Tomado de NTP 136, España)

Vistas las gráficas da trauma sonoro, se puede establecer una clasificación de las pérdidas observadas en la audiometría.

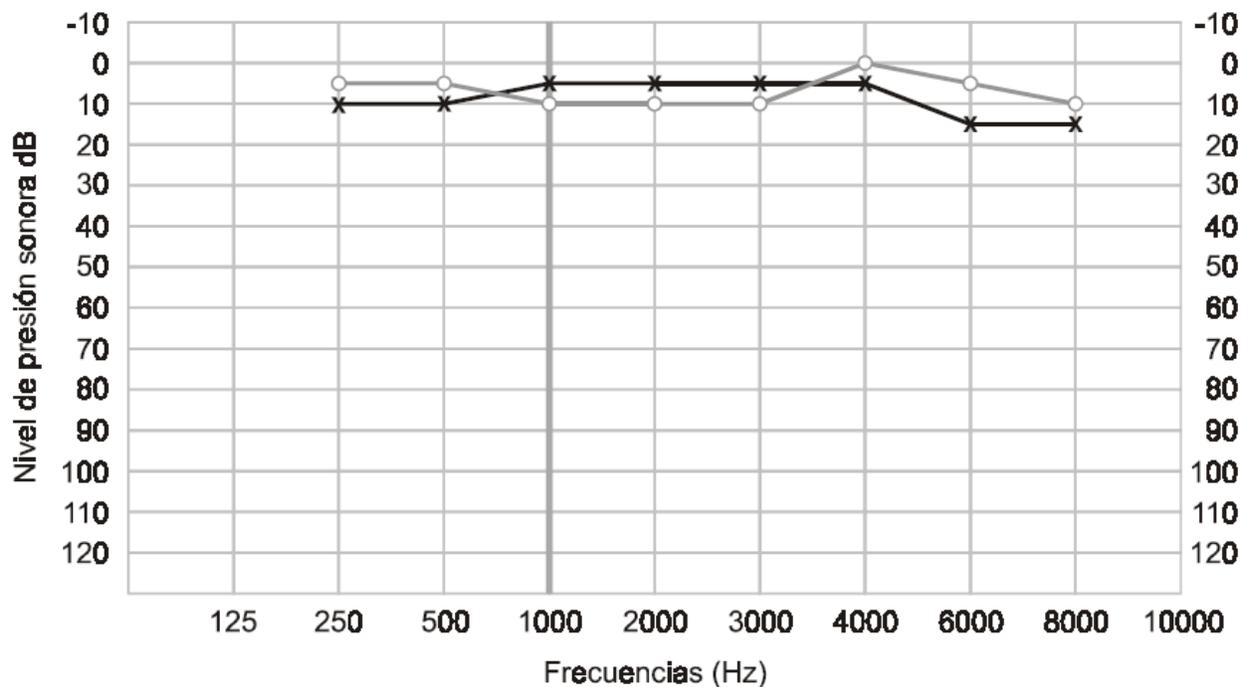


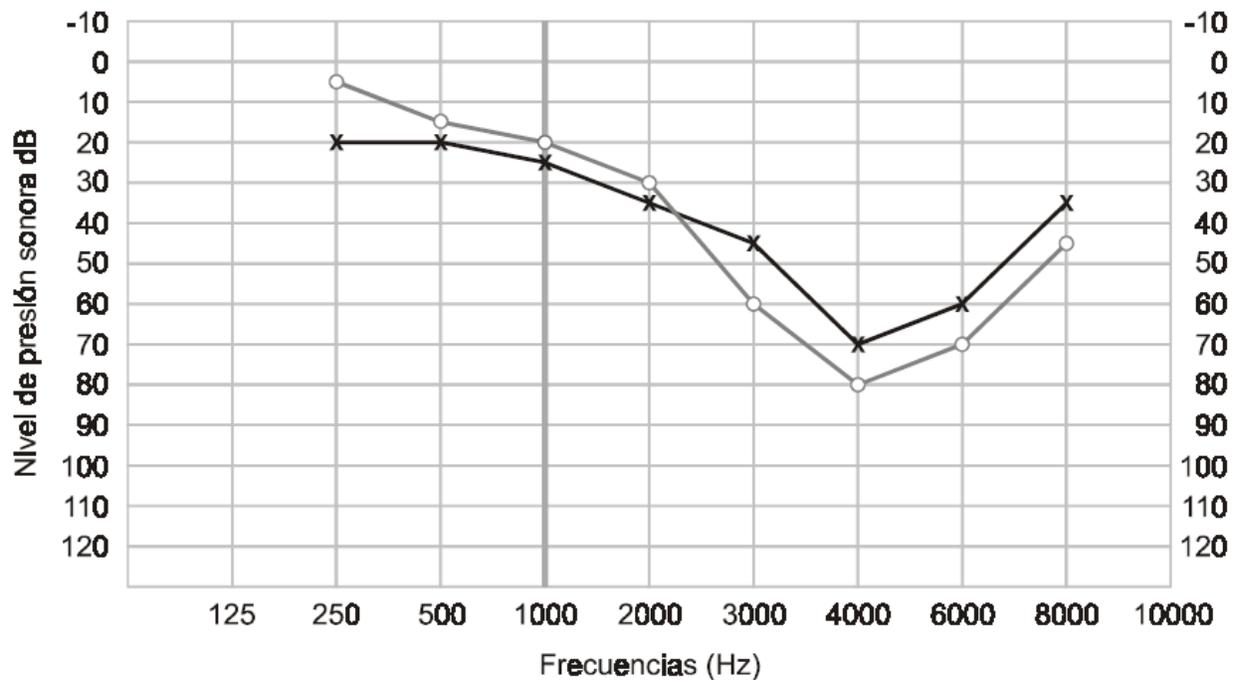
Figura 5.4. Audiometría típica de paciente sin problemas auditivos

La figura anterior muestra una audiometría típica de un paciente sin problemas auditivos, la cual se realiza, exponiendo al paciente a los tonos según las frecuencias según el eje de las abscisas.

En el eje vertical, se indican los niveles de presión sonora mínimos que el paciente declara escuchar, medidos en dB. A los sonidos más débiles les corresponden los números menores. En audiometrías, cuanto más se aleja hacia abajo de la línea cero del audiograma, mayor es la pérdida de la audición.

La práctica usual es registrar mediante círculos (O) rojos los umbrales para los tonos puros para el oído derecho y mediante equis (X) azules, los correspondientes al oído izquierdo.

A continuación se presenta una audiometría típica de una persona con cierto deterioro auditivo.



**Figura 5.5. Audiometría típica de paciente con hipoacusia inducida por ruido**

Alvarez et al (2016) analizan el riesgo de presentar una audiometría relacionada con el trabajo mediante estudio de casos y controles entre agentes de policía, bomberos y personal administrativo, encontrando diferencias significativas en el grupo de policía local mostrando mayor riesgo de lesión neurosensorial que el administrativo y a su vez que la evaluación epidemiológica de la salud es una herramienta eficaz para evaluación de riesgos.

A continuación se abordan distintos tipos de evaluación de la pérdida audiométrica, dado que hay estudios como el de Zhou et al. (2022) donde la conclusión al respecto de la pérdida auditiva está ligada a las frecuencias analizadas. En particular en el trabajo citado la pérdida porcentual aumenta con la exposición ocupacional medida en las frecuencias 3000, 4000 y 6000 Hz, mientras que en las frecuencias conversacionales (500, 1000 y 2000 Hz) dicho aumento no se detecta.

En el estudio mencionado, los autores concluyen que para las frecuencias conversacionales (500, 1000 y 2000 Hz) considerando como umbral de pérdida, el promedio del mejor oído de las tres frecuencias mencionadas mayores o iguales a 26 dB, solo pudo ser correlacionado con la edad, mientras que para las altas frecuencias definido como pérdida en cualquier oído para alguna de las tres frecuencias (3000, 4000 o 6000 Hz) mayores o iguales a 30 dB se asocia con el sexo, la edad, la duración de la exposición, la intensidad del ruido y la estructura temporal del ruido.

## 5.1 Índice de Pérdida Temprana (ELI)

Convencionalmente el trauma sonoro se evalúa a través de la magnitud de la pérdida auditiva o la frecuencia 4.000 Hz mediante el índice ELI (Early Loss Index; índice de pérdida temprana, por sus siglas en inglés) que clasifica los traumas en una escala creciente de A a E.

Para el cálculo de ELI se empieza restando el valor de la presbiacusia (pérdida por envejecimiento) a la pérdida audiométrica a 4.000 Hz que se presenta en la Tabla 5.1, según edad y sexo.

Corrección por Presbiacusia a 4000 Hz (dB)		
Edad	Mujeres	Hombres
25	0	0
30	2	3
35	3	7
40	5	11
45	8	15
50	12	20
55	15	26
60	17	32
65	18	38

Tabla 5.1 Corrección por presbiacusia para el criterio ELI

A partir de la pérdida audiométrica corregida de esta forma, se calcula el índice y se compara con la calificación cualitativa del trauma.

Pérdida corregida (dB)	Grado ELI	Clasificación
8 >	A	Normal Excelente
8 – 14	B	Normal Buena
15 – 22	C	Normal
23 – 29	D	Sospecha de Sordera
< 30	E	Claro indicio de Sordera

Tabla 5.2 Grados de pérdida auditiva según el criterio ELI

## 5.2 Pérdida auditiva en frecuencias conversacionales (SAL)

Para determinar el grado de audición que tiene el trabajador en las frecuencias conversacionales existe otro índice que es el SAL (Speech Average Loss; por sus siglas en inglés) que se define como la media aritmética de la pérdida auditiva en dB a las tres frecuencias conversacionales, 500 Hz, 1.000 Hz y 2.000 Hz y establece una clasificación en grado o escala desde A a G.

A efectos de la interpretación de resultados: SAL-A (los dos oídos están dentro de los límites normales, sin dificultad en oír la conversación baja) hasta el grado SAL-G (sordera total, no puede oír sonido alguno ni ampliándolo con un aparato protésico).

Grado	SAL (dB)	Nombre de Clase	Características
A	16 - oído peor	Normal	Los dos oídos están dentro de los niveles normales, sin dificultades en conversaciones en voz baja
B	16 - 30 uno de los oídos	Casi Normal	Tiene dificultades en conversaciones en voz baja, nada más
C	31 - 45 oído mejor	Ligero Empeoramiento	Tiene dificultades en conversaciones en una conversación normal pero no si se levanta la voz
D	46 - 60 oído mejor	Serio Empeoramiento	Tiene dificultades incluso cuando se levanta la voz
E	61 - 90 oído mejor	Grave Empeoramiento	Solo puede oír una conversación amplificada
F	90 oído mejor	Profundo Empeoramiento	No puede entender ni una conversación amplificada
G	Sordera Total en ambos oídos		No puede oír sonido alguno

**Tabla 5.3 Grados de pérdida auditiva según el criterio SAL**

### 5.3 Descenso Promedio en Umbrales auditivos en la zona de la palabra (DPU)

Resulta de particular importancia este método ya que es el comparativo asumido en nuestro país por el Banco de Seguros del Estado (BSE), de acuerdo a lo expuesto en 6.2.8, para determinar el nivel de discapacidad auditiva.

Para evaluar las hipoacusias se realizan audiometrías tonales liminares seriadas a efectos de verificar el trazado característico, corroborar la irreversibilidad del daño y descartar simulaciones.

La pérdida auditiva expresada en dB se estima a partir de un umbral de normalidad que está representado por una banda de intensidad entre 0 y 25 dB, la cual se ensancha por la presbiacusia en 0.5 dB anuales a partir de los 40 años.

- 1.- Se considera pérdida auditiva a partir de los 25 dB, considerando un incremento de 0.5 dB anuales por presbiacusia a partir de los 40 años
- 2.- Para la valoración se utiliza la “zona de la palabra” (500 – 1000 y 2000 Hz) con el agregado de 4000 Hz, dado que es la frecuencia donde se detecta primeramente la pérdida auditiva
- 3.- Se realiza el cálculo del DPU (descenso promedio de umbrales auditivos en la zona de la palabra) para cada oído:

$$DPU = \frac{2(500\text{Hz}) + 4(1000\text{Hz}) + 3(2000\text{Hz}) + 1(4000\text{Hz})}{10}$$

## 5.4 Pérdida Auditiva Media [Lafon & Duclos, Método (2000 + 4000)/2]

### 5.4.1 Introducción

Para determinar la hipoacusia laboral, los autores proponen usar la media de la pérdida auditiva registrada por audiometría de tonos puros por vía aérea, para las frecuencias 2000 Hz y 4000 Hz

Del estudio de la evolución auditiva y correlacionando con los años de exposición a ruido en el trabajo, los autores han calculado un ábaco que permite compensar el factor edad y así estimar la pérdida auditiva a una edad determinada. Asimismo, se describen zonas de riesgo en función del valor de pérdida.

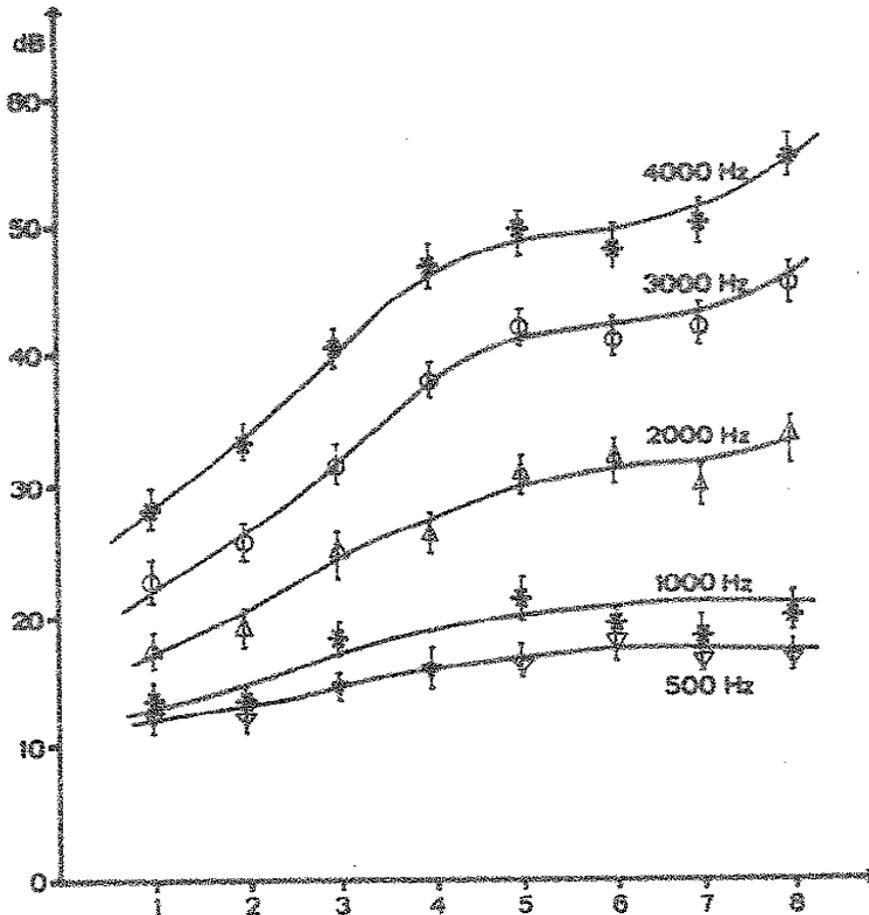


Figura 5.6. Pérdida auditiva en función de los años de exposición (unidad 5 años) tomado de Lafon – Duclos (1978)

Pérdida en dB por frecuencias según el tiempo de exposición. En abscisas tiempo de exposición, considerando cada unidad como 5 años de exposición

Dado el carácter más discriminativo y más específico de las frecuencias 2000, 3000 y 4000 Hz para la evaluación de la pérdida auditiva inducida por ruido, los autores proponen la siguiente como fórmula para evaluar la sordera ocupacional:

$$\frac{\text{Pérdida en 2000Hz} + \text{Pérdida en 4000Hz}}{2}$$

Esta fórmula equivale a tener en cuenta el valor de 3000 al estimar este valor por las dos octavas que lo enmarcan, y a efectos prácticos, tomar dos cifras reduce el error y tiene en cuenta la forma del escotoma traumático que, a veces, es más hacia los agudos; rara vez ocurre más hacia los graves que la frecuencia de 3000 Hz.

### 5.4.2 Pérdida Auditiva Media (PAM)

Aplicando esta fórmula a 5000 trabajadores que trabajan en talleres ruidosos diversos, se obtiene una curva que muestra una fuerte pendiente durante los primeros cinco años y una progresión regular entre los 10 y los 35 años de trabajo.

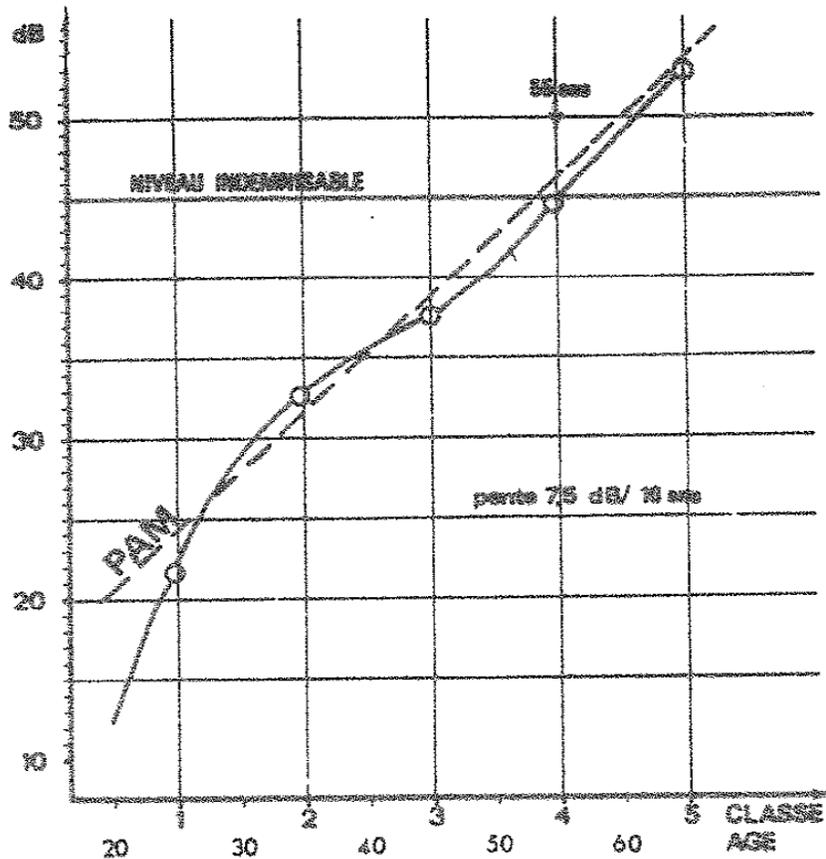


Figura 5.7. Pérdida auditiva media tomado de Lafon – Duclos (1978)

Esta curva se puede extrapolar una recta media que se aproxima al valor real de las horas de trabajo de 5 años, o bien, si se considera a un trabajador que trabaja regularmente en una profesión ruidosa, se puede colocar en vez de los años de exposición en la abscisa una escala de edad que va de los 20 a los 60 años.

El examen de las curvas de evolución según los años de trabajo o la edad revela tres períodos.

### **5.4.3 Primer Periodo**

El umbral auditivo es muy sensible a la acción del ruido en los primeros años de exposición. Se nota un decaimiento auditivo significativo de tipo sordera ocupacional en los aprendices (nuevos operarios), incluso para solo 12 horas de taller por semana, durante los tres primeros años de aprendizaje en oficios ruidosos. Este escotoma se ampliará y estadísticamente el umbral subirá rápidamente: para este primer período de hasta 5 o 10 años de vida profesional, se verifican ascensos en el umbral auditivo en las frecuencias 2000 y 4000 Hz a razón de entre 1 y 5 dB por año. Esta sensibilidad del umbral no refleja una fragilidad particular del oído.

### **5.4.4 Segundo Periodo**

La evolución de la pérdida auditiva es más lenta a partir de los 5 a 10 años de exposición y hasta los 30 a 55 años de trabajo. En edades de 25 a 55 años la pérdida en dB al año es un tercio de la del primer período, es decir 0,3 dB por año de pérdida auditiva media (PAM), que se correlaciona con la pérdida auditiva estadística.

### **5.4.5 Tercer Periodo**

A partir de los 55 años de edad se produce una nueva aceleración en la pérdida de dB/año. No se trata de la presbiacusia propiamente dicha, que para estas frecuencias no comienza hasta después de los 60 años, sino de cierta fragilidad de la cóclea pre-senescente frente al ruido industrial.

También hay formas más patológicas de sordera que reflejan el sufrimiento del órgano de Corti con distorsiones en la percepción del habla. Estas razones llevan a los autores a proponer la jubilación a los 55 años para los trabajadores que han trabajado en talleres ruidosos durante más de 25 años.

### **5.4.6 Pérdida auditiva promedio estándar (PAM)**

Para determinar el PAM se corrige el valor de la pérdida auditiva constatada en función de la edad del trabajador.

Es posible calcular un valor teórico de hipoacusia para una edad estándar que, se toma como 35 años.

Si un trabajador de 45 años tiene 36 dB de pérdida auditiva, esto corresponde a 29 dB para la abscisa en 35 años, es decir, tiene 29 dB de PAM. Otro trabajador de 28 años con 28 dB de pérdida auditiva tendrá una PAM de 31 dB, que alcanzará teóricamente a los 35 años.

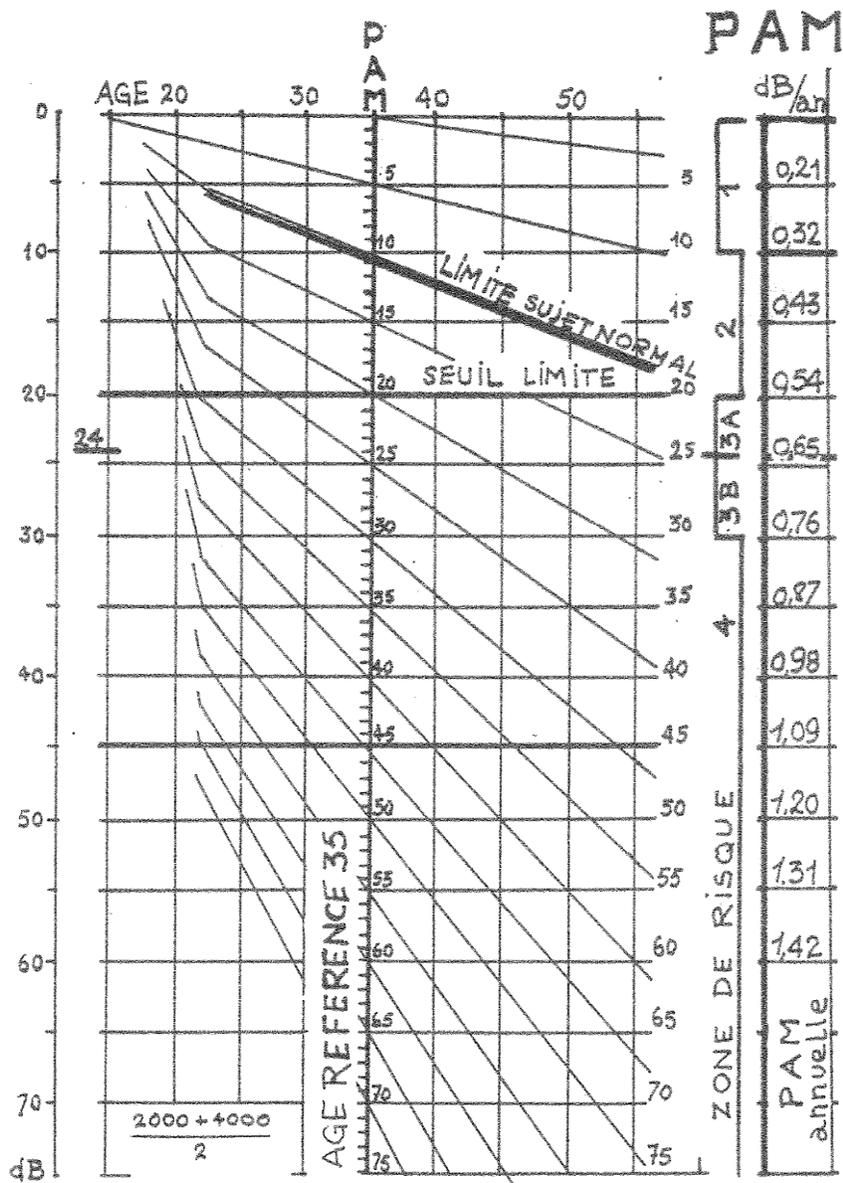


Figura 5.8. – Ábaco de pérdida auditiva media para población equivalente de 35 años tomado de Lafon – Duclos (1978)

Las restricciones para aplicar el ábaco son que el trabajador tenga al menos 5 años de trabajo en un lugar ruidoso (correspondiente a su profesión actual) y que haya pasado allí al menos un tercio de su vida profesional.

#### 5.4.7 Zonas del PAM

Zona	PAM (dB)	Evaluación
1	Menos de 10	Normal
2	10.1 – 20	Hipoacusia Social
3	20.1 - 29	Hipoacusia Laboral
4	Más de 29	Daño Auditivo

**Tabla 5.4 Zonas de pérdida auditiva según el criterio PAM**

La zona 1 corresponde a la audición normal

La zona 2 puede corresponder a las diversas deficiencias auditivas que interfieren en el trabajo sin que necesariamente exista una relación con la nocividad acústica del entorno.

La zona 3 tiene un límite significativo de 24 dB +/- 1, que es el del trabajo compensable legalmente<sup>4</sup>.

Cualquier PAM ubicado en esta área indica nocividad

La zona 4 es la de la afectación auditiva confirmada.

---

<sup>4</sup> Está referido por los autores a la normativa francesa de ese momento, es por ello que realizan esa distinción

## 6 Regulación Laboral y Seguimiento Ocupacional

### 6.1 Regulación Laboral

A continuación se analizan distintos enfoques reglamentarios de distintos países y bloques de países. Se encuentran diferencias de criterios propias de situaciones de exposición crónica; si bien el espíritu siempre es la búsqueda de la menor exposición posible, la fijación de criterios de exposición se basa en suposiciones muy diversas, a tal punto que en algunos casos parecen designaciones arbitrarias.

El tema de la protección contra la exposición a ruido está instalado en la OIT desde la promulgación del Convenio 148 en el año 1977, donde en su Parte III Medidas de Prevención y de Protección, art. 8, se definen:

1. *La autoridad competente deberá establecer los criterios que permitan definir los riesgos de exposición a la contaminación del aire, el ruido y las vibraciones en el lugar de trabajo, y fijar, si hubiere lugar, sobre la base de tales criterios, los límites de exposición.*
2. *Al elaborar los criterios y determinar los límites de exposición, la autoridad competente deberá tomar en consideración la opinión de personas técnicamente calificadas, designadas por las organizaciones interesadas más representativas de empleadores y de trabajadores.*
3. *Los criterios y límites de exposición deberán fijarse, completarse y revisarse a intervalos regulares, con arreglo a los nuevos conocimientos y datos nacionales e internacionales, y teniendo en cuenta, en la medida de lo posible, cualquier aumento de los riesgos profesionales resultante de la exposición simultánea a varios factores nocivos en el lugar de trabajo.*

Genera así la obligación para los países suscritos de establecer valores límites con una revisión periódica de los mismos. A su vez, en el espíritu de minimizar la exposición, en el art.9 plantea:

*En la medida de lo posible, se deberá eliminar todo riesgo debido a la contaminación del aire, al ruido y a las vibraciones en el lugar de trabajo:*

*(a) mediante medidas técnicas aplicadas a las nuevas instalaciones o a los nuevos procedimientos en el momento de su diseño o de su instalación, o mediante medidas técnicas aportadas a las instalaciones u operaciones existentes, o cuando esto no sea posible,*

*(b) mediante medidas complementarias de organización del trabajo.*

E introduce el concepto de Elementos de Protección Personal (EPP) en el art. 10:

*Cuando las medidas adoptadas en virtud del artículo 9 no reduzcan la contaminación del aire, el ruido y las vibraciones en el lugar de trabajo a los límites especificados en virtud del artículo 8, el empleador deberá proporcionar y conservar en buen estado el equipo de protección personal apropiado. El empleador no deberá obligar a un trabajador a trabajar sin el equipo de protección personal proporcionado en virtud del presente artículo.*

## **6.1.1 Reglamentación internacional**

### **6.1.1.1 Reglamento de la Unión Europea (UE)**

La Unión Europea (UE) regula la exposición laboral a través de la Directiva 2003/10/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (6 de febrero de 2003) sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (ruido), incluyendo los siguientes considerandos como premisas:

*Adoptar medidas que protejan a los trabajadores de los riesgos derivados del ruido debido a sus efectos en la salud y la seguridad de los trabajadores, en particular los daños en el oído. Estas medidas tienen como finalidad no sólo garantizar la salud y la seguridad de cada trabajador por separado, sino también crear para el conjunto de los trabajadores de la Comunidad.*

*El conocimiento científico de los posibles efectos sobre la salud y la seguridad de la exposición al ruido no basta para poder establecer niveles precisos de exposición que cubran todos los riesgos para la seguridad y la salud, especialmente por lo que se refiere a los efectos del ruido distintos de los de naturaleza auditiva.*

*La reducción de la exposición al ruido se logra de manera más eficaz mediante la aplicación de medidas preventivas a partir de la concepción de los puestos y lugares de trabajo, así como mediante la elección de los equipos, procedimientos y métodos de trabajo, de manera que se conceda prioridad a la reducción de los riesgos en su origen*

*Para evaluar correctamente la exposición de los trabajadores al ruido es conveniente aplicar un método objetivo de medición; de ahí la referencia a la norma ISO 1999:1990, que goza de un reconocimiento general. Los valores evaluados u objetivamente medidos deben ser decisivos para iniciar las acciones previstas para los valores superiores e inferiores de exposición que dan lugar a una acción. Se necesitan valores límite de exposición con el fin de evitar daños irreversibles en el aparato auditivo de los trabajadores; el ruido que llega al oído debe mantenerse por debajo de los valores límite de exposición.*

Sobre las premisas anteriores, se definen los parámetros físicos utilizados como indicadores de riesgo se definen de la siguiente manera:

- a) presión acústica de pico ( $P_{\text{pico}}$ ): el valor máximo de la presión acústica instantánea con ponderación frecuencial "C";

- b) nivel de exposición diaria al ruido ( $L_{AEX,8 h}$ , dB, ref 20  $\mu$ Pa): promedio ponderado en el tiempo de los niveles de exposición al ruido para una jornada de trabajo nominal de ocho horas tal como se define en la norma internacional ISO 1999:2013, punto 3.6. Se considerarán todos los ruidos existentes en el trabajo, incluidos los ruidos de impulsos;
- c) nivel de exposición semanal al ruido ( $L_{AEX, 40 h}$ ): promedio ponderado en el tiempo de los niveles de exposición diaria al ruido para una semana de trabajo nominal de cinco jornadas de ocho horas, tal como se define en la norma internacional ISO 1999:2013.

En el Artículo 3 de la Directiva, se presentan los valores límite de exposición y valores de exposición que dan lugar a una acción:

- a) *valores límite de exposición:  $L_{AEX,8 h} = 87$  dB y  $P_{pico} = 200$  Pa, respectivamente;*
- b) *valores superiores de exposición que dan lugar a una acción:  $L_{AEX,8 h} = 85$  dB y  $P_{pico} = 140$  Pa, respectivamente;*
- c) *valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción:  $L_{AEX,8 h} = 80$  dB y  $P_{pico} = 112$  Pa, respectivamente.*
- d) *Con los criterios que al aplicar los valores límite de exposición, en la determinación de la exposición real del trabajador al ruido, se tendrá en cuenta la atenuación que procuran los protectores auditivos individuales utilizados por los trabajadores mientras que para los valores de exposición que dan lugar a una acción no se tendrán en cuenta los efectos producidos por dichos protectores.*

Con estos límites definidos, establece en el Artículo 5 disposiciones orientadas a evitar o a reducir la exposición.

Como premisa principal que los riesgos derivados de la exposición al ruido deberán eliminarse en su origen o reducirse al nivel más bajo posible. Para ello se tendrán en consideración:

- a) *otros métodos de trabajo que reduzcan la necesidad de exponerse al ruido*
- b) *la elección del equipo de trabajo adecuado que genere el menor nivel posible de ruido, habida cuenta del trabajo al que está destinado, incluida la posibilidad de proporcionar a los trabajadores equipo de trabajo que se ajuste a las disposiciones comunitarias, cuyo objeto o resultado sea limitar la exposición al ruido*
- c) *la concepción y disposición de los lugares y puestos de trabajo*
- d) *la información y formación adecuadas para enseñar a los trabajadores a utilizar correctamente el equipo de trabajo con vistas a reducir al mínimo su exposición al ruido;*
- e) *reducción técnica del ruido:*

- i. *reducción del ruido aéreo, por pantallas, cerramientos, o recubrimientos con material acústicamente absorbente,*
  - ii. *reducción del ruido transmitido por cuerpos sólidos, por ejemplo, mediante amortiguamiento o aislamiento;*
  - iii. *programas apropiados de mantenimiento de los equipos de trabajo, del lugar de trabajo y de los sistemas del lugar de trabajo;*
- f) *reducción del ruido mediante la organización del trabajo:*
  - i. *limitación de la duración e intensidad de la exposición,*
  - ii. *adopción de horarios de trabajo apropiados, provistos de suficientes períodos de descanso.*

#### **6.1.1.2 Caso de España como integrante de la UE**

En el caso de España, la regulación es a partir del Real Decreto 286/2006, que en el art. 5 establece los valores límite de exposición y valores de exposición que dan lugar a una acción:

- Valores límite de exposición:  $L_{Aeq,d} = 87$  dB y  $L_{pico} = 140$  dB (C), respectivamente
- Valores superiores de exposición que dan lugar a una acción:  $L_{Aeq,d} = 85$  dB y  $L_{pico} = 137$  dB (C), respectivamente
- Valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción:  $L_{Aeq,d} = 80$  dB y  $L_{pico} = 135$  dB (C), respectivamente.

También determina que al aplicar los valores límite de exposición, en la determinación de la exposición real del trabajador al ruido, se tendrá en cuenta la atenuación que procuran los protectores auditivos individuales utilizados por los trabajadores. Para los valores de exposición que dan lugar a una acción no se tendrán en cuenta los efectos producidos por dichos protectores.

#### **6.1.1.3 Reglamento EE.UU.**

En EE.UU. el organismo encargado de establecer los límites y criterios es el Departamento de Trabajo de EE.UU. Agencia de Salud y Seguridad Laboral (OSHA), el cual lo reglamenta en el documento OSHA 1910.95, el cual en el Párrafo 1910.95(b) (1) establece

*Cuando los trabajadores estén expuestos a ruidos que superen los que constan en la Tabla G-16 se utilizarán posibles controles administrativos o de ingeniería. Si tales controles no logran reducir los niveles de ruido a los previstos en la Tabla G-16, se proporcionará y utilizará material protector personal para reducir los niveles de ruido a los previstos por la tabla.*

La tabla referida se transcribe a continuación:

Duración (h)	Nivel de Ruido dB(A) (Respuesta Lenta)
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1.5	102
1	105
0.5	107

**Nota 1.** Cuando la exposición diaria al ruido se produzca en dos o más periodos de exposición a ruidos de distintos niveles, deberá considerarse su efecto conjunto más que el efecto individual de cada uno. Si la suma de las fracciones siguientes:  $C(1)/T(1) + C(2)/T(2) + \dots + C(n)/T(n)$  supera la unidad, habrá que considerar que la exposición conjunta supera el valor límite.  $C_n$  indica el tiempo total de exposición a un nivel de ruido concreto, y  $T_n$  indica el tiempo total de exposición permitida a ese nivel.

**Nota 2.** La exposición a ruidos impulsivos o de impacto no debería superar un pico de presión acústica de 140 dB.

**Tabla 6.1 Transcripción de Tabla G-16 Exposición permitida al ruido**

#### 6.1.1.4 Reglamento México

En México la regulación de la exposición laboral a ruido está reglamentada por NORMA OFICIAL MEXICANA-NOM-011-STPS-2001, donde en su capítulo 7 define los límites máximos permisibles de exposición a ruido.

#### LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE EXPOSICION

NER (Nivel de Exposición a Ruido)	TMPE (tiempo máximo de exposición)
90 dB(A)	8 HORAS
93 dB(A)	4 HORAS
96 dB(A)	2 HORAS
99 dB(A)	1 HORA
102 dB(A)	30 MINUTOS
105 dB(A)	15 MINUTOS

**Tabla 6.2 Límites máximos de exposición según NORMA OFICIAL MEXICANA-NOM-011-STPS-2001**

Define a su vez que cuando el Nivel de Exposición al Ruido (NER) sea superior a 105 dB(A) se deben implementar una o más de las medidas de control descritas en el inciso a) del Apartado 8.7.1. de la misma norma.

Distingue entre medidas técnicas de control y medidas administrativas de control. Las medidas técnicas pueden consistir en:

- 1) efectuar labores de mantenimiento preventivo y correctivo de las fuentes generadoras de ruido

- 2) sustitución o modificación de equipos o procesos
- 3) reducción de las fuerzas generadoras del ruido
- 4) modificar los componentes de frecuencia con mayor posibilidad de daño a la salud de los trabajadores
- 5) distribución planificada y adecuada, del equipo en la planta
- 6) acondicionamiento acústico de las superficies interiores de los recintos
- 7) instalación de cabinas, envolventes o barreras totales o parciales, interpuestas entre las fuentes sonoras y los receptores
- 8) tratamiento de las trayectorias de propagación del ruido y de las vibraciones, por aislamientos de las máquinas y elementos

En tanto, entre las medidas administrativas de control se tiene:

- 1) manejo de los tiempos de exposición
- 2) programación de la producción
- 3) otros métodos administrativos

#### **6.1.1.5 *Reglamento Argentina***

En el caso de Argentina la exposición laboral al ruido está regulada en el decreto 351/79 artículos 85 a 94, donde para ruido continuo o intermitente se indica:

El nivel de presión acústica se debe determinar por medio de un sonómetro o dosímetro considerando que el sonómetro deberá disponer de filtro de ponderación frecuencial A y respuesta lenta considerando que la duración de la exposición no deberá exceder de los valores que se dan en la Tabla 6.3.

Cuando la exposición diaria al ruido se compone de dos o más períodos de exposición a distintos niveles de ruidos, se debe tomar en consideración el efecto global, en lugar del efecto individual de cada período. Si la suma de las fracciones siguientes es mayor que la unidad, entonces se debe considerar que la exposición global sobrepasa el valor límite umbral.

$$\frac{C1}{T1} + \frac{C2}{T2} + \frac{C3}{T3}$$

C1 indica la duración total de la exposición a un nivel específico de ruido y T1 indica la duración total de la exposición permitida a ese nivel.

En los cálculos citados, se usarán todas las exposiciones al ruido en el lugar de trabajo que alcancen o sean superiores a los 80 dBA. Esta fórmula se debe aplicar cuando se utilicen los sonómetros para sonidos con niveles estables de por lo menos 3 segundos.

El límite se excede cuando la dosis es mayor de 100 %, medida en un dosímetro fijado para un índice de conversión de 3 dB y un nivel de 85 dBA como criterio para las 8 horas

Utilizando el sonómetro de integración, el valor límite se excede cuando el nivel medio de sonido supere los valores de la Tabla 6.3.

No se permitirán exposiciones sin protección auditiva por encima de un nivel pico ponderado C de presión acústica de 140 dB.

Si no se dispone de la instrumentación para medir un pico ponderado C, se puede utilizar la medida de un pico no ponderado por debajo de 140 dB para suponer que el pico C ponderado está por debajo de ese valor.

**TABLA**  
Valores límite PARA EL RUIDO<sup>o</sup>

	Duración por día	Nivel de presión acústica dBA*
Horas	24	80
	16	82
	8	85
	4	88
	2	91
Minutos	1	94
	30	97
	15	100
	7,50 Δ	103
	3,75 Δ	106
	1,88 Δ	109
	0,94 Δ	112
Segundos Δ	28,12	115
	14,06	118
	7,03	121
	3,52	124

**TABLA**  
Valores límite PARA EL RUIDO<sup>o</sup>

	Duración por día	Nivel de presión acústica dBA*
	1,76	127
	0,88	130
	0,44	133
	0,22	136
	0,11	139

<sup>o</sup> No ha de haber exposiciones a ruido continuo, intermitente o de impacto por encima de un nivel pico C ponderado de 140 dB.

\* El nivel de presión acústica en decibeles (o decibelios) se mide con un sonómetro, usando el filtro de ponderación frecuencial A y respuesta lenta.

Δ Limitado por la fuente de ruido, no por control administrativo. También se recomienda utilizar un dosímetro o medidor de integración de nivel sonoro para sonidos por encima de 120 decibeles.

**Tabla 6.3 Límites máximos de exposición según reglamentación argentina**

### 6.1.1.6 Reglamento Chile

En el caso de Chile está regulada la exposición laboral al ruido en el decreto 594/99 donde en el art. 71 donde se definen ruido estable, fluctuante e impulsivo:

*Ruido estable es aquel ruido que presenta fluctuaciones del nivel de presión sonora instantáneo inferiores o iguales a 5 dB(A) lento, durante un período de observación de 1 minuto.*

*Ruido fluctuante es aquel ruido que presenta fluctuaciones del nivel de presión sonora instantáneo superiores a 5 dB(A) lento, durante un período de observación de 1 minuto.*

*Ruido impulsivo es aquel ruido que presenta impulsos de energía acústica de duración inferior a 1 segundo a intervalos superiores a 1 segundo.*

Donde para la exposición tanto a ruido estable como fluctuante define en el art. 73:

*La exposición a ruido estable o fluctuante se deberá medir el nivel de presión sonora continuo equivalente (NPS<sub>eq</sub> o Leq), el que se expresará en decibeles ponderados "A", con respuesta lenta, es decir, en dB(A) lento.*

Los niveles de exposición ocupacional a ruido estable o fluctuante se definen en el art. 74; deberá ser controlada de modo que para una jornada de 8 horas diarias ningún trabajador podrá estar expuesto a un nivel de presión sonora continuo equivalente superior a 85 dB(A) lento, medidos en la posición del oído del trabajador, mientras que en el art. 75 hace extensivo los niveles de presión sonora continua equivalente, diferentes a 85 dB(A) lento, se permitirán siempre que el tiempo de exposición a ruido del trabajador no exceda los valores indicados en la siguiente tabla:

NPS <sub>eq</sub> (dB(A) Lento)	tiempo exposición máximo		
	Horas	minutos	segundos
80	24		
81	20.16		
82	16		
83	12.7		
84	10.08		
85	8		
86	6.35		
87	5.04		
88	4		
89	3.17		
90	2.52		
91	2		
92	1.59		
93	1.26		
94	1		

NPS <sub>eq</sub> (dBA Lento)	tiempo exposición máximo		
	Horas	minutos	segundos
95		47.4	
96		37.8	
97		30	
98		23.8	
99		18.9	
100		15	
101		11.9	
102		9.4	
103		7.5	
104		5.9	
105		4.7	
106		3.75	
107		2.97	
108		2.36	
109		1.88	
110		1.49	
111		1.18	
112			56.4
113			44.64
114			35.43
115			29.12

**Tabla 6.4 Tiempo máximo de exposición a niveles de presión sonora según reglamentación chilena**

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

En el art. 76 establece la composición de periodos de exposición:

*Cuando la exposición diaria a ruido está compuesta de dos o más períodos de exposición a diferentes niveles de presión sonora continuos equivalentes, deberá considerarse el efecto combinado de aquellos períodos cuyos NPSeq sean iguales o superiores a 80 dB(A) lento. En este caso deberá calcularse la dosis de ruido diaria (D), mediante la siguiente fórmula:*

$$\frac{Te1}{Tp1} + \frac{Te2}{Tp2} + \frac{Ten}{Tpn} = D$$

*Te = Tiempo total de exposición a un determinado NPSeq*

*Tp = Tiempo total permitido de exposición a ese NPSeq*

*La dosis (D) de ruido diaria máxima permisible será 1 (100 %)*

A su vez en el art. 77 establece que en ningún caso se permitirá que trabajadores carentes de protección auditiva personal estén expuestos a niveles de presión sonora continuos equivalentes superiores a 115 dB(A) lento, cualquiera sea el tipo de trabajo.

A partir del art. 78 se definen los límites de la exposición a ruido impulsivo; se deberá medir el nivel de presión sonora peak (NPS peak), expresado en decibeles ponderados "C", es decir, dB(C) Peak.

Del mismo modo que lo establecido en el art. 74 para ruidos estables, se define "exposición" en el art. 79; la exposición ocupacional a ruido impulsivo deberá ser controlada de modo que para una jornada de 8 horas diarias ningún trabajador podrá estar expuesto a un nivel de presión sonora Peak superior a 95 dB(C) Peak, medidos en la posición del oído del trabajador.

Los niveles de presión sonora Peak diferentes a 95 dB(C) Peak, se permitirán (art. 80) siempre que el tiempo de exposición a ruido del trabajador no exceda los valores indicados en la siguiente tabla:<sup>5</sup>

NPS <sub>Peak</sub> (dBC)	tiempo exposición por día		
	Horas	minutos	Segundos
90	24		
91	20.16		
92	16		
93	12.7		
94	10.08		
95	8		
96	6.35		
97	5.04		
98	4		
99	3.17		
100	2.52		
101	2		
102	1.59		
103	1.26		
104	1		
105		47.4	
106		37.8	
107		30	
108		23.8	
109		18.9	

<sup>5</sup> En comunicación con M. Sánchez del Ministerio de Salud de Chile, aclara el contenido de la tabla y su utilización: al ser ruido impulsivo, independientemente del tiempo de medida, el valor pico solo mostrará el mayor valor efectivamente registrado donde nada se sabe de su duración ni de otros ruidos impulsivos de menor valor que el máximo, entonces no tiene correlación el impulso con el tiempo de exposición, salvo el límite último de 140 dB para 1 s que es, en la vía de los hechos, el único valor de cumplimiento o no de la normativa en las mediciones de campo.

NPS <sub>Peak</sub> (dBC)	tiempo exposición por día		
	Horas	minutos	Segundos
110		15	
111		11.9	
112		9.4	
113		7.5	
114		5.9	
115		4.7	
116		3.75	
117		2.97	
118		2.36	
119		1.88	
120		1.49	
121		1.18	
122			56.4
123			44.64
124			35.43
125			28.13
126			22.32
127			17.72
128			14.06
129			11.16
130			8.86
131			7.03
132			5.58
133			4.43
134			3.52
135			2.79
136			2.21
137			1.76
138			1.4
139			1.11
140			1

**Tabla 6.5** Tiempo máximo de exposición a niveles de pico según reglamentación chilena

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

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

## 6.1.2 Reglamentación Nacional y su evolución

### 6.1.2.1 Decreto 406/988

En nuestro país, este decreto es el que reglamenta la Ley 15965, donde nuestro país ratifica el Convenio 148 de la OIT.

En el citado decreto, en el CAPITULO III - Riesgos Físicos, en el Art. 14 establece que los trabajadores ocupados en tareas con exposición a ruido de intensidad superior a 85dB(A) deben ser sometidos a exámenes de Audiometría Tonal Liminar, al ingreso a la función, como también en forma periódica, a efectos del diagnóstico previo de daños al oído según lo que determine la autoridad competente.<sup>6</sup>

### 6.1.2.2 Ley 17.852 (2004) Prevención Vigilancia y Corrección de la Contaminación Acústica

Establece en el Art. 9 (Establecimientos y maquinarias):

*Tratándose de establecimientos que ocupen trabajadores, sean asalariados dependientes o por cuenta propia, se aplicarán las normas en la materia, estando sujetos al contralor del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, sin perjuicio de las facultades que a otros organismos correspondan.*

*En tales establecimientos se prohíbe el funcionamiento de maquinarias, motores y herramientas sin las debidas precauciones necesarias para evitar la propagación hacia el ambiente, de ruidos que sobrepasen los niveles sonoros admisibles.*

*Los ruidos producidos por máquinas, equipos o herramientas industriales, rurales, comerciales o de servicios, se evitarán o reducirán, primero en su emisión y, sólo de no ser ello posible, en su propagación.*

### 6.1.2.3 Decreto 210/011

En este se decreta la obligatoriedad de considerar a nivel nacional la lista de enfermedades profesionales de la OIT del año 2010, en la cual está definido:

#### 1.2. Enfermedades causadas por agentes físicos

##### 1.2.1. Deterioro de la audición causada por ruido

### 6.1.2.4 Decreto N° 143/012

Establece en el art. 1 que se requerirá el uso obligatorio de medios de protección personal auditiva cuando el nivel de intensidad sonora del puesto de trabajo considerado sea superior a 80 dBA.

Otra normativa en la misma dirección de limitar la exposición a dicho nivel:

### 6.1.2.5 Decreto N° 125/014 - Seguridad e Higiene en la Industria de la Construcción

*Artículo 373.- Cuando el nivel sonoro supere los 80 decibelios (A), será obligatorio adoptar las medidas necesarias a fin de eliminar o reducir el nivel sonoro en la fuente.373.1. Cuando dichas*

---

<sup>6</sup> El valor establecido en el decreto es modificado en el año 2012.

*medidas no logren reducirlo al valor máximo permitido, será obligatorio proveer al trabajador de protectores auditivos que aseguren la necesaria atenuación de acuerdo al nivel y características del ruido. 373.2 La curva de atenuación de los mismos deberá estar certificada bajo norma reconocida.*

#### **6.1.2.6 Decreto N° 321/009 – Reglamentación del Convenio Internacional de Trabajo N° 184 Sobre Seguridad y Salud en la Agricultura**

*Artículo 47.- A los efectos de evitar las consecuencias perjudiciales del ruido sobre la salud de los trabajadores deberán tomarse las medidas administrativas (ejemplo: reducción del período de exposición al riesgo), de prevención técnica, eliminación o reducción de la intensidad de presión sonora en su fuente de origen o control de su propagación al medio ambiente con vistas a reducir dicho factor como agente causal de enfermedades y molestias. Se requerirá el uso obligatorio de medios de protección personal auditiva cuando el nivel de intensidad sonora del puesto de trabajo considerado sea superior a 80 dB y luego de haberse agotado las medidas anteriores o la mismas sean de muy difícil aplicación o ejecución debidamente demostrado ante la Inspección General del Trabajo y de la Seguridad Social.*

Este último decreto citado, está en los considerandos del 143/012 para regular a nivel nacional y en todo ámbito laboral el máximo de exposición laboral.

## **6.2 Salud Ocupacional y seguimiento de trabajadores expuestos**

### **6.2.1 OIT**

En el Convenio 148 de la OIT (1977) en su art. 11, se establecen los principios de vigilancia de salud de los trabajadores.

*1.- El estado de salud de los trabajadores expuestos o que puedan estar expuestos a los riesgos profesionales debidos a la contaminación del aire, el ruido y las vibraciones en el lugar de trabajo deberá ser objeto de vigilancia, a intervalos apropiados, según las modalidades y en las circunstancias que fije la autoridad competente.*

*Esta vigilancia deberá comprender un examen médico previo al empleo y exámenes periódicos, según determine la autoridad competente.*

*2.- La vigilancia prevista en el párrafo 1 del presente artículo no deberá ocasionar gasto alguno al trabajador.*

*3.- Cuando por razones médicas sea desaconsejable la permanencia de un trabajador en un puesto, deberán adoptarse todas las medidas compatibles con la práctica y las condiciones nacionales para trasladarlo a otro empleo adecuado o para asegurarle el mantenimiento de sus ingresos mediante prestaciones de seguridad social o por cualquier otro método.*

## 6.2.2 Unión Europea 2003/10/CE

En el Artículo 6 se definen los elementos de protección personal; en el Artículo 10 se establecen los criterios de vigilancia de la salud

- *Los Estados miembros adoptarán disposiciones que garanticen una adecuada vigilancia de la salud de los trabajadores cuando el resultado de la medición y la evaluación de los riesgos previstos en el indique la existencia de un riesgo para su salud.*
- *Los trabajadores cuya exposición al ruido supere los valores superiores de acción de exposición tendrán derecho a que un médico u otra persona debidamente cualificada, lleve a cabo controles de su función auditiva. También deberá poder realizarse el control audiométrico preventivo en el caso de trabajadores cuya exposición supere los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción. La finalidad de dichos controles será el diagnóstico precoz de cualquier pérdida de audición debida al ruido y preservar la función auditiva.*
- *Cuando el control de la función auditiva ponga de manifiesto que un trabajador padece una lesión auditiva diagnosticable, un médico, o un especialista si el médico lo considera necesario, evaluarán si la lesión puede ser consecuencia de una exposición al ruido durante el trabajo. En tal caso:*
  - a) el médico u otra persona que tenga la cualificación adecuada comunicará al trabajador el resultado que le atañe personalmente*
  - b) por su parte, el empresario deberá:*
    - Revisar la evaluación de los riesgos*
    - Revisar las medidas previstas para eliminar o reducir los riesgos*
    - Tener en cuenta las recomendaciones de un profesional al aplicar cualquier medida que se considere necesaria para eliminar o reducir el riesgo*
    - Disponer una vigilancia sistemática de la salud y el examen del estado de salud de los demás trabajadores que hayan sufrido una exposición similar.*

## 6.2.3 España

El Real Decreto 286/2006, en su art.11 determina que los trabajadores cuya exposición al ruido supere los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción tendrán derecho a que un médico, u otra persona debidamente cualificada bajo la responsabilidad de un médico, a través de la organización preventiva que haya adoptado la empresa, lleve a cabo controles de su función auditiva.

También tendrán derecho al control audiométrico preventivo los trabajadores cuya exposición supere los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción cuando la evaluación y la medición previstas en el artículo 6.1 indiquen que existe riesgo para su salud. Su periodicidad será como mínimo,

cada tres años en los puestos de trabajo en los que se sobrepasen los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción, o cada cinco años cuando se sobrepasen los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción.

#### 6.2.4 EEUU

La OSHA define los siguientes criterios para el programa de vigilancia audiométrica.

- Los empleadores establecerán y mantendrán un programa de pruebas audiométricas para todos los empleados cuya exposición a ruido equivale o excede a 85 dB en ocho horas.
- El programa no debe tener costo para los empleados.
- Las pruebas audiométricas deberán ser realizadas por un audiólogo, otorrinolaringólogo o un médico, certificado por el CAHOC (Council Accreditation in Occupational Hearing Conservation, en EEUU), los cuales deberán acreditar su competencia para obtener audiogramas válidos y mantener una adecuada calibración de los audiómetros utilizados.
- El responsable del programa debe ser un audiólogo, un otorrinolaringólogo, o un médico especialista en Salud Ocupacional

A su vez establece lineamientos para los procedimientos, evaluación, estándares de cambio de umbral:

- Define el daño auditivo cuando el nivel de pérdida excede 25 dB, tomando un promedio de las frecuencias entre 250 y 3000 Hz
- Audiograma base. Se obtendrá un audiograma base, en el plazo de seis meses de la primera exposición al ruido del empleado, que será comparado con los audiogramas posteriores. Debe haber un reposo mínimo de 14 horas antes de la exposición al ruido para establecer un audiograma base
- Audiograma anual. Al año de haberse obtenido el audiograma base se obtendrá un nuevo audiograma para cada empleado expuesto a 85 dB o más, ocho horas al día.
- Cada audiograma anual del empleado debe ser comparado con el audiograma base, para determinar si hay un cambio definido en el umbral de audición (Standard Threshold Shift).
- Un cambio en la audición con respecto al audiograma base de 10 dB o más en las frecuencias<sup>7</sup> 2000, 3000 y 4000 Hz; este cambio puede ser debido a la edad y debe ser corregido en el audiograma acorde con el cálculo de corrección por presbiacusia.

---

<sup>7</sup> De acuerdo con la OSHA 1910.95(g)(10)(i) se interpreta que corresponde a una pérdida de 10 dB o más como promedio de las pérdidas en las frecuencias 2000, 3000 y 4000 Hz en cualquier oído, según la cita textual:

*As used in this section, a standard threshold shift is a change in hearing threshold relative to the baseline audiogram of an average of 10 dB or more at 2000, 3000, and 4000 Hz in either ear.*

- La audiometría de tonos puros para la conducción aérea incluye las frecuencias 500, 1000, 2000, 3000, 4000 y 6000 Hz.

### 6.2.5 México

La vigilancia a la salud queda establecida en la NORMA OFICIAL MEXICANA-NOM-011-STPS-2001 en el capítulo 8, donde queda regulado tanto el nivel como la frecuencia de los exámenes audiométricos correspondientes.

El empleador debe llevar a cabo exámenes médicos anuales específicos a cada trabajador expuesto a niveles de ruido de equivalentes en la jornada (NER según es definido en la propia normativa) de 85 dB(A) y mayores.

En el apartado 8.7. Control, enumera las medidas de control en caso de tener los niveles de exposición expuestos tanto medidas técnicas de control como medidas administrativas

A su vez, en el apartado 8.7.4. determina que en la entrada de las áreas donde los niveles sonoros A (NS<sub>A</sub>) sean iguales o superiores a 85 dB(A), debe colocarse señalización de uso obligatorio de equipo de protección personal auditiva.

### 6.2.6 Argentina

La Mesa de Consenso para la vigilancia de la salud de los trabajadores – Hipoacusia inducida por ruido (HIR) en el ámbito ocupacional, en el apartado 2 – recomendaciones para el examen preocupacional y exámenes médicos-, propone la elaboración de la Historia Clínica del Trabajador expuesto al ruido, incluyendo algunos antecedentes médicos a considerar:

#### 1. Familiares y hereditarios

- *Antecedentes en su gestación y características del parto*
- *Enfermedades infecciosas en la infancia*
- *Afecciones Otorrinolaringológicas clínicas y quirúrgicas*
- *Enfermedades del adulto que puedan generar pérdidas auditivas. Entre ellas las virales: parotiditis, varicela-zoster, VIH, VHS.*

#### 2. Hábitos sociales y recreativos

#### 3. Antecedentes de Exposición Laboral.

A su vez, en el apartado 3 “Evaluación de la capacidad auditiva” describe el alcance del examen clínico:

*Examen audiométrico con otoscopia anualmente y la primera audiometría periódica a los seis meses para identificar individuos susceptibles.*

Con la consideración de que, si bien NIOSH aconseja realizar el estudio al final de la jornada laboral, esta Mesa, en base a criterios operativos, consensuó que se realice el estudio con 12 horas de reposo.

En el Audiograma:

**a)** *Que estén presentes en las curvas audiométricas las siguientes características de una hipoacusia perceptiva neurosensorial*

- *Curvas bilaterales simétricas*
- *Que no haya diferencia entre vía aérea y vía ósea mayor a 15 dB con pendiente hacia las frecuencias agudas y con las frecuencias graves (125, 250 y 500 Hz) con umbrales inferiores a 25 dB. En la hipoacusia neurosensorial o perceptiva hay acompañamiento de las vías aérea y ósea.*
- *Otro criterio general es que se entienda por hipoacusia al descenso en el umbral mayor a 20 dB, sin importar su origen*
- *Fase I y II escotoma típico a 4000 Hz, con pérdida de 10 a 15 a 2000 Hz.*
- *Fase III y IV tiende a desaparecer el escotoma pérdidas de dB a 250 y 500 Hz.*
- *Las primeras frecuencias afectadas son las agudas, específicamente entre los 3 kHz a 6 kHz.*

*Se entiende como umbral auditivo a la presión sonora necesaria para que el oído perciba un sonido. El nivel mínimo de un sonido para que este logre ser percibido.*

**b)** *La existencia de acúfenos no es necesaria para el diagnóstico de hipoacusia inducida por ruido.*

- *Debe cotejarse la caída auditiva actual con el audiograma tonal liminar de vía aérea y vía ósea previo, y prestar especial atención a las frecuencias 4 y 6 KHz por ser las más sensibles y comúnmente afectables en la HIR inicial.*

En cuanto al grado de hipoacusia, por consenso se adopta la siguiente clasificación:

*Menor a 25 dB: Audición Normal*

*26-40: Hipoacusia leve: Se considera Hipoacusia leve de 26 a 40 dB con escotoma presente en el 4000 Hz. Siempre que el audiograma empiece en la línea 0 (cero) considerando esto como manifestación temprana.*

*41-55: Hipoacusia moderada*

*56-70: Hipoacusia moderada a severa*

*71-90: Hipoacusia severa*

*90: Hipoacusia profunda*

En el punto 5 “Consideraciones sobre la audiometría con signos de hipoacusia inducida por ruido”, se plantea la necesidad de revisión de las modalidades de cuantificación de la pérdida auditiva de causa laboral.

Sostiene que debe cambiarse el criterio médico legal y jurídico indemnizatorio por el de prevención y cuidado de la salud audiológica.

El Consenso establece que la Hipoacusia Inducida por ruido sin incapacidad debe considerarse como una enfermedad profesional, enfocada en el carácter preventivo y no en el de incapacidad e indemnización que señala la normativa actual.

Teniendo en cuenta este concepto, esta enfermedad profesional sin incapacidad debería pasar a formar parte del Programa de Vigilancia Auditiva.

La definición técnica de “enfermedad profesional” del INSHT sostiene que es aquel deterioro lento y progresivo de la salud del trabajador producido por una exposición crónica a situaciones adversas, sean estas producidas por el ambiente en el que se desarrolla el trabajo o por la forma en la que se encuentra organizado.

El término “enfermedad profesional” no discrimina entre incapacitante o no incapacitante; si afecta la salud del trabajador debe ser considerado enfermedad profesional.

En el punto 7 establece los criterios para derivación al médico especialista en otorrinolaringología:

1. Siempre que el diagnóstico de HIR no quede claro.
2. La concomitancia de síntomas como mareos, acúfenos, vértigo, dolor de oído, intolerancia al uso de dispositivos de protección

En general, también debe derivarse a especialista cuando las características de la audiometría ocupacional y/o los antecedentes personales sean distintos a los propios de la Hipoacusia Inducida por Ruido.

En el apartado 8 describe las medidas preventivas:

*Eliminación o control del ruido*

1. *Procedimientos de ingeniería ya sea en la fuente, en las vías de transmisión o en el recinto receptor.*
2. *Protección auditiva al trabajador.*
3. *De no ser suficientes las correcciones indicadas precedentemente se procederá a la reducción de los tiempos de exposición.*

Las estrategias son similares a las descritas en el caso español y se enumeran a continuación:

- a. *Otros métodos de trabajo que reduzcan la necesidad de exponerse al ruido.*
- b. *La elección de equipos de trabajo adecuados (máquinas, instalaciones, herramientas, etc.) que generen el menor nivel posible de ruido.*
- c. *La concepción y disposición de los lugares y puestos de trabajo.*
- d. *La reducción técnica del ruido (protección acústica, aislamiento de la fuente)*
  - *Reducción el ruido aéreo, por ejemplo, por medio de pantallas, cerramientos, recubrimientos con material acústicamente absorbente.*
  - *Reducción del ruido transmitido por cuerpos sólidos, por ejemplo, mediante amortiguamiento o aislamiento.*
- e. *Programas apropiados de mantenimiento de los equipos de trabajo, del lugar de trabajo y de los puestos de trabajo.*
- f. *Limitación de la duración e intensidad de la exposición;*
- g. *Ordenación adecuada del tiempo de trabajo.*
- h. *Provisión de elementos de protección personal homologados, acorde a los niveles y frecuencias sonoras.*
- i. *Formación, capacitación y entrenamientos en el riesgo y la forma de prevenirlo en su puesto de trabajo.*
- j. *Señalización de la obligación de protección auditiva.*

A los efectos de la evaluación del daño auditivo, los trabajadores se someterán a estudio auditivo consistente en evaluación otológica y 3 audiometrías separadas por un mínimo de 7 días entre sí y con un mínimo de 24 horas de reposo auditivo, así como a otros estudios para verificar el daño coclear.

Los promedios de los decibeles, medidos en los umbrales de las frecuencias consideradas: suma de pérdidas de 500, 1000, 2000 y 4000 Hz, en los tres exámenes, no podrán diferir en más de 10 dB. Si este requisito no se cumple en las 3 audiometrías, deberán tomarse otras hasta lograrlo.

Si por efecto de un trauma agudo se pierde total e irreversiblemente la función de un oído, conservándose la normalidad del otro, la incapacidad a reconocer será del 15 %.

La hipoacusia total, traumática o por exposición al ruido, se evaluará como una incapacidad del 42 %. Las hipoacusias parciales se evaluarán según la Tabla 6.6.

Cálculo de la pérdida monoaural:

Se suma la pérdida en decibeles de la vía aérea en las frecuencias 500, 1.000, 2.000 y 4.000 Hz. La suma obtenida se traslada a la Tabla 6.6, donde se convierte en porcentaje de pérdida auditiva.

PERDIDA AUDITIVA MONOAURAL			
SD	%	SD	%
100	0,0	240	52,5
105	1,9	245	54,4
110	3,8	250	56,2
115	5,6	255	58,1
120	7,5	260	60,0
125	9,4	265	61,9
130	11,2	270	63,8
135	13,1	275	65,6
140	15,0	280	67,5
145	16,9	285	69,3
150	18,8	290	71,2
155	20,6	295	73,1
160	22,5	300	75,0
165	24,4	305	76,9
170	26,2	310	78,8
175	28,1	315	80,6
180	30,0	320	82,5
185	31,9	325	84,4
190	33,8	330	86,2
195	35,6	335	88,1
200	37,5	340	90,0
205	39,4	345	90,9
210	41,2	350	93,8
215	43,1	355	95,6
220	45,0	360	97,5
225	46,9	365	99,4
230	48,9	370 o >	100,0
235	50,6		

**Tabla 6.6** Evaluación de la pérdida auditiva según reglamentación argentina



- Evaluación Médica
- Historia Ocupacional.

Se deben incluir en la vigilancia de la salud auditiva a los trabajadores con exposición ocupacional a ruido a niveles iguales o superior a los criterios de acción establecidos a continuación:

- *Dosis de Acción de 0,5 o 50 %: Este valor corresponde a la mitad de la Dosis de Ruido máxima permitida por la normativa legal vigente*
- *Nivel de acción de 82 dB(A): Este valor es equivalente a una Dosis de Ruido de 0,5 o 50 %, para un tiempo efectivo de exposición diario de 8 horas.*
- *Para aquellos casos donde se determine la existencia de ruido impulsivo, el Nivel de acción será de 135 dB(C) Peak.*

Se deben incorporar a la evaluación de la audición a todos aquellos trabajadores con exposición ocupacional a ruido igual o superior al Criterio de Acción.

*Dentro de la etapa de evaluación auditiva, se distinguen los siguientes tipos de audiometrías:*

- Audiometría de base: Consiste en el examen que permite determinar los umbrales de audición aéreos en el rango de frecuencias de 500 Hz a 8000 Hz, la cual debe ser realizada dentro de 60 días de iniciada la exposición ocupacional a ruido a niveles iguales o superiores al Criterio de Acción*
- Audiometría de seguimiento: Es el examen que permite determinar en forma periódica los umbrales de audición aéreos en el rango de frecuencias de 500 Hz a 8000 Hz y los resultados se deben comparar con el audiograma base o con la última audiometría de seguimiento o de confirmación, según corresponda. Si estos resultados muestran un descenso de 15 dB HL o más, que implique la presencia de hipoacusia (disminución capacidad auditiva desde los 25 dB HL), en al menos una de las frecuencias evaluadas de cualquiera de los dos oídos o una curva audiométrica alterada, el trabajador deberá ser derivado a una audiometría de confirmación.*

*La periodicidad de las audiometrías de este tipo, ordenada según niveles de seguimiento, se definirá de acuerdo a la magnitud de la exposición ocupacional a ruido, según lo establecido en la Tabla siguiente:*

Nivel de seguimiento	Exposición ocupacional a ruido	Periodicidad audiometrías
<b>I</b>	$82dB(A) \leq NPSeq_{8h} \leq 85dB(A)$ o $50\% \leq DRD \leq 100\%$ *	Cada 3 años
<b>II</b>	$85dB(A) < NPSeq_{8h} \leq 95dB(A)$ o $100\% < DRD \leq 1000\%$ *	Cada 2 años
<b>III</b>	$NPSeq_{8h} > 95dB(A)$ o $DRD > 1000\%$ *	Cada 1 año
<b>IV</b>	Presencia ruido impulsivo ( $\geq 135$ dB(C) Peak)	Cada 6 meses

\* DRD: Dosis de Ruido Diaria

Tabla 6.8 Vigilancia de la salud auditiva según reglamentación chilena

No obstante, la periodicidad puede variar su nivel de seguimiento inicial, de acuerdo con los siguientes criterios:

- a) Si el trabajador que se encuentra en nivel de seguimiento I presenta diagnóstico de **Hipoacusia Sensorineural Laboral (HSNL) leve**, que corresponde a una hipoacusia en una o más frecuencias (3000 Hz, 4000 Hz y 6000 Hz) de hasta 45 dB HL debe pasar a nivel de seguimiento II.
- b) Si el trabajador que se encuentra en nivel de seguimiento I o II presenta diagnóstico de HSNL moderada, que corresponde a una hipoacusia en una o más frecuencias (3000 Hz, 4000 Hz y 6000 Hz) mayor a 45 dB HL, debe pasar a nivel de seguimiento III.
- c) Si el trabajador que se encuentra en nivel de seguimiento I presenta exposición actual a ototóxicos laborales, debe pasar a nivel de seguimiento II.

En aquellos casos donde se produzca una exposición ocupacional a ruido combinada (nivel de seguimiento I, II o III y ruido impulsivo  $\geq 135$  dB(C) Peak), primara la periodicidad menor (nivel de seguimiento IV).

**C. Audiometría de confirmación:** Corresponde a una audiometría efectuada en cámara audiométrica que debe ser realizada para confirmar la variación de los resultados obtenidos en la audiometría seguimiento.

Esta audiometría, incluye umbrales auditivos aéreos para el rango de frecuencias de 250 Hz a 8000 Hz y óseos entre 250 Hz y 4000 Hz, y debe ser realizada dentro de los 30 días luego de efectuada la audiometría de seguimiento.

Si se confirma el cambio en los umbrales auditivos pesquisada en la audiometría de seguimiento, el trabajador debe ser derivado al médico de salud ocupacional, quien realizará una evaluación médica con el fin de determinar si corresponde a una HSNL.

El “Porcentaje de incapacidad de ganancia” está definido en el art 25 c.- otras lesiones, órganos de los sentidos, en el apartado 37 (pérdida de audición); de 15 a 65 % determina indemnización a pensión parcial. La determinación de dicho porcentaje viene dada por:

- El nivel auditivo promedio en las frecuencias 1000, 2000, 3000, 4000 y 6000 Hz excede los 25 dB
- La evaluación audiométrica determinará dos alternativas:
  1. Sin daño médico legal – situación cuando la pérdida auditiva promedio en las frecuencias antes descritas es de 25 dB o menos
  2. Con daño médico legal – situación cuando la pérdida está comprendida entre 26 y 92 dB; este intervalo de 67 dB corresponde al 100 % de daño auditivo, de forma tal que a cada dB sobre los 25 dB , le corresponde 1.5 % de daño auditivo, considerando que el promedio igual o superior a 92 dB corresponde a 100 % de incapacidad

Para el cálculo se toma el promedio de 3 audiogramas en las frecuencias dadas para cada oído. Al valor promedio se le resta 25 dB y al resultante se lo multiplica por 1.5 %. Luego para determinar el % de daño, se multiplica por 5 el mejor oído y por 1 el peor, se suman y dividen entre 6, al valor resultante se lo multiplica por 65 % para determinar el % de daño del paciente.

Si la pérdida auditiva corresponde a una HSNL con un porcentaje de incapacidad de ganancia < 15 %, el trabajador continuará en el programa de vigilancia de la salud auditiva con audiometrías de seguimiento, según la periodicidad que corresponda.

Si la pérdida auditiva corresponde a una HSNL con un porcentaje de incapacidad de ganancia  $\geq$  15 % el trabajador deberá ser derivado a una Evaluación Audiológica Médico Legal (EAML).

### 6.2.8 Uruguay

En nuestro país el criterio de vigilancia está regulado según la Ordenanza MSP 145/009.

Dicha ordenanza establece un esquema de vigilancia de los trabajadores según su exposición a agentes físicos o químicos. En particular, en el caso de exposición a ruido establece una audiometría tonal anual para aquellos trabajadores expuestos a 85 dB<sup>10</sup> o más, límite que cambió a 80 dBA luego que el decreto 143/012 derogase el art. 12 del decreto 406/988.

El Banco de Seguros del Estado (BSE) clasifica los resultados de la audiometría según los siguientes criterios:

- A- *LABORAL (1) Trazado compatible con HIPOACUSIA PROFESIONAL bilateral y simétrico sin afectación de la zona de la palabra. En ese caso la resolución es remitir audiometría a BSE anualmente*

---

<sup>10</sup> En la ordenanza n° 145 ref. n° 001 -3 -5137 – 2008 establece la realización de audiometría tonal anual para exposiciones a ruido mayores a 85 dB (sin especificar escala de ponderación frecuencial).

- A- *LABORAL (2) Trazado compatible con HIPOACUSIA PROFESIONAL bilateral y simétrico con afectación de la zona de la palabra. En ese caso la resolución es quedar a cargo del servicio de hipoacusias ocupacionales del BSE para controles anuales.*
- B- *NO LABORAL Trazado Alterado NO COMPATIBLE con la pérdida auditiva por exposición crónica a ruido nocivo. En ese caso la resolución es recomendar seguimiento por Otorrinolaringólogo del servicio asistencial*
- C- *NORMAL Trazado dentro de límites normales (0 – 25 dB)*

## 7 Norma ISO 1999:2013

### 7.1 Introducción

La norma ISO 1999:2013 presenta desde el punto de vista estadístico la relación entre la exposición y el cambio permanente de umbral auditivo (NIPTS, por sus siglas en inglés) para personas de distintas edades, considerando la presbiacusia. Provee procedimientos para estimar la pérdida de audición por exposición en poblaciones sin otros problemas auditivos a no ser la exposición ambiental, o también poblaciones donde su capacidad auditiva puede ser medida o estimada.

Para cada nivel de exposición, tiene un rango de valores positivos representando la variabilidad de la susceptibilidad al daño auditivo por exposición al ruido.

Los parámetros como la media o mediana estadística de NIPTS para dos poblaciones pueden ser utilizados para evaluar la pérdida de una población expuesta normalmente al ruido en ámbito laboral.

La norma especifica un método para el cálculo de la pérdida de audición inducida por la exposición a ruido esperada en poblaciones de adultos en función de los distintos niveles y tiempo de exposición.

Provee las bases de cálculo de la pérdida auditiva cuando los límites de audición son medidos por audiometrías por vía aérea. Presenta un conjunto de fórmulas de combinaciones lineales de los valores medidos de pérdida auditiva en varias frecuencias audiométricas, si bien esta norma no especifica frecuencias, combinaciones de frecuencias o ponderaciones para la evaluación de la discapacidad auditiva, ni especifica límites que sea necesario superar para que exista discapacidad. La selección de dichos parámetros queda a criterio del usuario. A los efectos de la evaluación a la exposición a ruido, no se toma en cuenta el eventual uso de EPP que disminuyan el nivel de exposición.

La medida de la exposición a elevados niveles sonoros de una población trabajadora es el nivel normalizado a 8 horas nominales por día (Lex,8h) durante 5 días a la semana, para un número determinado de años de exposición. La norma es aplicable hasta 10 kHz y el uso de la norma a presiones mayores de 200 Pa (140 dB) se toma como extrapolación.

Las fórmulas presentadas para el cálculo de la pérdida auditiva, incluyendo la distribución estadística, en un rango de frecuencias, debido a la exposición, se presentan como función del nivel y la duración (en años) de la exposición, sin distinguir género en la población.

Para calcular los niveles de umbral de audición y el riesgo de adquirir pérdida de audición por exposición, es necesario tener una población con la que la información medida o calculada pueda ser comparada. Por eso, la norma proporciona tres bases audiométricas obtenidas a partir de datos reales de población de Suecia, Noruega y EEUU.

Esta norma se basa en datos estadísticos y no puede aplicarse para la predicción de la pérdida auditiva a nivel individual, excepto en términos de probabilidades estadísticas.

## 7.2 Términos y definiciones

- Pérdida auditiva: empeoramiento, cambio o desviación para peor del umbral de audición normal
- Discapacidad auditiva: efecto de la pérdida de audición en la vida cotidiana
- Umbral: límite de audición por encima del cual se considera que hay discapacidad
- Riesgo de discapacidad auditiva: porcentaje de la población con discapacidad auditiva permanente
- Riesgo de discapacidad auditiva debido a la exposición a ruido: porcentaje de la población con discapacidad expuesta a ruido menos el porcentaje de la población no expuesta

$$Lex, 8h = L_{pAeq,te} + 10 \log \left( \frac{te}{t_0} \right)$$

$t_0$ : 8 horas

$t_e$ : duración efectiva (horas)

$L_{pAeq,te}$ : nivel de presión sonora continuo equivalente (dB)

$$Lex, 8h = 10 \log \left( \frac{1}{c} \sum_1^n 10^{0.1(Lex)_i} \right)$$

Con n y c elegidos según se trate de días hábiles o totales por semana y considerando distintos niveles de exposición diaria

- (H) HTLA: umbral auditivo asociado a la edad sin exposición a ruido (dB). Es lo que se designa usualmente como presbiacusia, es decir, la pérdida auditiva debido al envejecimiento.
- (N) NIPTS: cambio permanente real o potencial (en dB) del límite de audición debido solo por la causa exposición a ruido
- (H') HTLAN: umbral de audición asociado a la edad y a la exposición a ruido (dB)

$$H' = H + N - \frac{H \cdot N}{120}$$

La fórmula solo es aplicable si se toma el mismo % de población para los valores de H, N y H'. El término HN/120 empieza a ser relevante a partir de que  $H+N \geq 40\text{dB}$

## 7.3 Predicción de los efectos del ruido en el límite de audición

### 7.3.1 Bases de datos para determinación de HTLA (H)

La norma proporciona 2 bases de datos: A y B

#### 7.3.1.1 Base de datos A

La base de datos A deriva de personas otológicamente sanas que no tienen historia de exposición a ruido. La distribución estadística es realizada de acuerdo a la norma ISO 7029, separando poblaciones masculina y femenina.

Las fórmulas aplicables para calcular el umbral de audición debido a la edad (H) como una función de la edad (Y, en años), para varios porcentajes (Q) de la población para los que el límite de audición excedería ese nivel ( $H_Q$ ) son:

- $5\% \leq Q < 50\%$ :

$$H_Q = H_{md,y} + ksu$$

- $Q = 50\%$

$$H_{md,y} = a(Y - 18)^2 + H_{md,18}$$

- $50 < Q \leq 95\%$

$$H_Q = H_{md,y} - ksl$$

Con:

$s_u$ : desviación estándar del 50 % superior de la distribución

$s_l$ : desviación estándar del 50 % inferior de la distribución

$H_{md,18}$ : mediana del límite de audición de personas otológicamente normales del mismo sexo a los 18 años de edad; en la práctica es de valor 0

Para la definición de  $s_u$  y  $s_l$  se definen otros parámetros:  $b_u$  y  $b_l$

$$s_u = b_u + 0.445H_{md,y}$$

$$s_l = b_l + 0.356H_{md,y}$$

Los valores de  $a$ ,  $b_l$  y  $b_u$  están tabulados en función de las frecuencias.

#### 7.3.1.2 Base de datos B

La norma proporciona 3 ejemplos de poblaciones aleatoriamente seleccionadas de tres países: Suecia, Noruega y EEUU. Las referidas a Suecia y Noruega pertenecen a poblaciones no expuestas a ruido ocupacional, mientras que la referida a EEUU sí está compuesta por población expuesta a ruido ocupacional.

Se presentan tablas de las 3 bases de datos en función de género y edad, para el intervalo de frecuencias entre 500 y 8000 Hz.

### 7.3.2 Cálculo del cambio permanente del umbral de audición (N)

#### 7.3.2.1 Cálculo de $N_{50}$

La mediana del potencial de pérdida de audición inducida por ruido (NIPTS;  $N_{50}$ ) es función de la frecuencia, la duración de exposición, el ratio ( $t/t_0$ ) de duración de la exposición y el nivel de exposición normalizado a 8 horas.

Para exposiciones entre 10 y 40 años, para ambos sexos se define  $N_{50}$ :

$$N_{50} = (u + v \log \left( \frac{t}{t_0} \right)) (L_{ex,8h} - L_0)^2$$

Con:

$L_{ex,8h}$ : nivel de exposición normalizado a 8 horas de exposición diarias (dB)

$L_0$ : nivel de presión sonora

t: duración de la exposición (años)

$t_0$ : 1 año

u y v son función de la frecuencia (f) y están tabulados

Esta fórmula es válida cuando  $L_{ex,8h}$  es mayor que  $L_0$ ; en caso contrario, se deberá igualar a  $L_0$  y por tanto,  $N_{50}=0$

Para exposiciones menores a 10 años, N será extrapolado a 10 años según:

$$N_{50,t} = \frac{\log(t+1)}{\log(11)} N_{50,10}$$

Esta expresión es válida para t entre 1 y 10 años; aplicarla para exposiciones menores a 1 años se considera una extrapolación.

#### 7.3.2.2 Distribución estadística del cambio permanente del límite de audición (N)

Para el propósito de la norma, la distribución se aproxima por 2 mitades distintas de distribuciones gaussianas. La mitad superior, con el porcentaje de peor audición de la mediana, está caracterizada por el parámetro  $du$ , en tanto la mitad inferior tiene menor dispersión, caracterizada por el parámetro  $dl$ . Entonces en función del porcentaje (Q):

- $5\% \leq Q < 50\%$ :

$$N_Q = N_{50} + kd_u$$

- $50 < Q \leq 95\%$

$$N_Q = N_{50} - kd_l$$

Los valores de k están tabulados según la distribución gaussiana.

Para valores porcentuales entre 0 y 5 % y entre 95 y 100 %, la expresión no es válida, ya que no resulta representativa debido a los pocos datos en esas regiones de las gaussianas.

$N_Q$  está definido para valores positivos; los valores calculados que pudieren dar negativos deben ser considerados como 0.

### 7.3.2.3 Parámetros $d_u$ y $d_l$

Los parámetros  $d_u$  y  $d_l$ , expresados en dB, están definidos de la siguiente forma:

$$d_u = \left( X_u + Y_u \log \left( \frac{t}{t_0} \right) \right) * (L_{ex,8h} - L_0)^2$$

$$d_l = \left( X_l + Y_l \log \left( \frac{t}{t_0} \right) \right) * (L_{ex,8h} - L_0)^2$$

$X_u$ ,  $Y_u$ ,  $X_l$  e  $Y_l$ : son dados como una función de la frecuencia audiométrica y están tabulados

$L_{ex,8h}$ : nivel de exposición normalizado a 8 horas de exposición diarias (dB)

$L_0$ : nivel de presión sonora con la consideración de que  $L_{ex,8h}$  es mayor que  $L_0$ ; en caso de que  $L_{ex,8h}$  sea menor que  $L_0$ , será tomado igual a  $L_0$

t: duración de exposición (años)

$t_0$ : 1 año

## 7.4 Evaluación de la pérdida de audición y discapacidad inducida por exposición a ruido

### 7.4.1 Pérdida auditiva

La pérdida potencial debida a la exposición ocupacional es directamente evaluada por el NIPTS, la cual puede ser:

- Considerada separadamente para cada frecuencia

- Agregadas en ciertos grupos de frecuencias, para dar una pérdida “total”
- Promediada entre un número de frecuencias elegidas representadas por el rango de inteligibilidad del lenguaje

En la versión de la norma de 1990, si bien no se establecen los valores límites a partir de los cuales se consideran pérdida de capacidad auditiva y eventualmente discapacidad, sí se plantean metodologías de evaluación, las cuales son enumeradas en el capítulo 6, en particular en los apartados 6.1 y 6.2, a saber:

- Promedio 50 0Hz – 1000 Hz y 2000 Hz
- Promedio 500 Hz – 1000 Hz – 2000 Hz y 3000 Hz
- Promedio 500 Hz – 1000 Hz – 2000 Hz y 4000 Hz
- Promedio 1000 Hz – 2000 Hz y 3000 Hz
- Promedio 1000 Hz – 2000 Hz – 3000 Hz y 4000 Hz
- Promedio 2000 Hz y 4000 Hz
- Ponderando distintas frecuencias según la siguiente expresión:

$$\frac{2(500Hz) + 4(1000Hz) + 3(2000Hz) + 1(4000Hz)}{10}$$

- Pérdida a 2000 Hz y a 3000 Hz
- Promedio 2000 Hz – 3000 Hz y 4000 Hz

Todos los promedios son aritméticos y se refieren a las pérdidas registradas en audiometrías de tonos puros por vía aérea.

## 8 Caso de Estudio

Si bien más adelante se analizarán distintos grupos específicos según su exposición a ruido, es por ellos más allá de que no fueron posibles realizar medidas en todas dichas áreas, se entiende pertinente realizar una descripción de dichos procesos y el porqué de su elección

### 8.1 Descripción de Procesos en Estudio

#### 8.1.1 Plantas Ácido

Descripción General del Proceso

Se trata de dos plantas de producción de ácido sulfúrico por quema directa de azufre, conversión catalítica con pentóxido de vanadio del dióxido de azufre producto de la combustión a trióxido de azufre, de simple absorción del mismo para producir ácido sulfúrico 98 – 99 %, como proceso alternativo, cada unidad cuenta con producción de óleum (ácido sulfúrico fumante), con concentración teórica de 103 – 105 %.

Tanto en la etapa de combustión como en las etapas de conversión catalítica, por ser procesos exotérmicos, se registra aumento de temperatura, y dado que a los efectos de la adecuación del flujo gaseoso por las temperaturas óptimas del catalizador es necesario disminuir la temperatura de los gases, en particular luego de la quema de azufre a modo de intercambiador de calor, está acoplada una caldera de generación de vapor, el cual, dentro de otros usos es utilizado como fuerza motriz para impulsar el aire a través de una turbina de vapor acoplada a un soplador de lóbulos .

Este sistema turbina – soplador es la fuente de ruido principal de la planta, y dado el nivel de exposición es el que se tomará como ejemplo para realizar modificaciones en la sala desde el punto de vista acústico.

En una vista en planta parcial de las plantas de ácido se indican los puntos de medición: las dos salas de control, las dos salas de soplador y un punto exterior representativo de la zona de labores.

#### 8.1.2 Palas Mecánicas

Dado el movimiento de materiales granel, tanto a efectos productivos como logísticos, las palas mecánicas o cargadores frontales, son equipos clave en el funcionamiento de la planta.

Desde el punto de la exposición son equipos donde el operador, está en condiciones de exposición permanentes y con cierta variabilidad en el nivel de exposición según sean las condiciones de trabajo, como ser: motor en ralentí, en baja marcha, pero entregando alta potencia (“remontando” material), alta marcha en circulación.

Si bien han existido avances importantes en la insonorización de las cabinas de operador, al respecto de ello a continuación se muestran valores típicos de modelos nuevos, los modelos anteriores incluso de fábrica eran entregados sin cabina, es por ello que se considera aún un grupo de riesgo.

L110F	
Emergency exit	Use emergency hammer to break window
Sound level in cab according to ISO 6396/SAE J2105	LpA 68 dB (A)*
Sound level in cab according to ISO 6396/SAE J2105	LpA 70 dB (A)
External sound level according to ISO 6395/SAE J2104	LwA 106 dB (A)*
External sound level according to ISO 6395/SAE J2104	LwA 109 dB (A)
Ventilation	9 m <sup>3</sup> /min
Heating capacity	15 kW
Air conditioning (optional)	7,5 kW

\* with noise reduction kit, EU

L120F	
Emergency exit	Use emergency hammer to break window
Sound level in cab according to ISO 6396/SAE J2105	LpA 68 dB (A)*
Sound level in cab according to ISO 6396/SAE J2105	LpA 70 dB (A)
External sound level according to ISO 6395/SAE J2104	LwA 106 dB (A)*
External sound level according to ISO 6395/SAE J2104	LwA 109 dB (A)
Ventilation	9 m <sup>3</sup> /min
Heating capacity	15 kW
Air conditioning (optional)	7,5 kW

\* with noise reduction kit, EU

Ruido	
Con velocidad del ventilador de enfriamiento en el valor máximo:	
Nivel de presión acústica para el operador (ISO 6396:2008)	75 dB(A)
Nivel de potencia acústica exterior (ISO 6395:2008)	112 dB(A)
Nivel de presión acústica exterior (SAE J88:2013)	78 dB(A)*
*Distancia de 15 m (49,2') avanzando en una relación de segunda marcha.	
Con velocidad del ventilador de enfriamiento a un 70 % del valor máximo:**	
Nivel de presión acústica para el operador (ISO 6396:2008)	72 dB(A)
Nivel de potencia acústica exterior	109 dB(A)***

\*\*Para las máquinas que se utilizan en los países de la Unión Europea y en los países que adoptan las "Directivas de la UE".  
 \*\*\*Directiva de la Unión Europea "2000/14/EC", según lo enmendado en "2005/88/EC".

### 8.1.3 Planta Granulados

#### Descripción General del Proceso

El material ingresa en forma de polvo y es trasladado dentro de la planta por cintas, elevadores de cangilones y cilindros rotatorios.

Se resume el proceso en la Tabla 9.5.

El gránulo es formado por adición de agua y vapor al polvo, el cual luego, para dar rigidez al grano debe ser secado, luego el material es enfriado previo a clasificación por tamaño, el grano grueso es molido y devuelto a la alimentación, el fino vuelve a la alimentación y el acepto es recubierto con un producto antipolvo para mejorar su estabilidad.

Dado que el proceso implica movimientos mecánicos de ventiladores, cilindros rotatorios, elevadores de cangilones, y que buena parte de las tareas de control se realizan en campo, se entiende que es una planta de consideración en términos de exposición a ruido y en ese sentido se ha clasificado también un grupo de análisis individual.

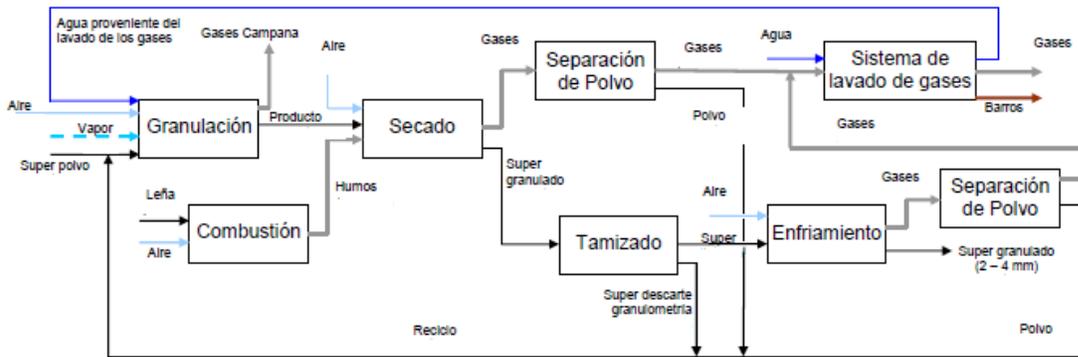


Figura 8.1. Diagrama de flujo del proceso industrial

## 9 Discusión

### 9.1 Análisis Comparativo de Marco Regulatorio

En todos los casos analizados existe un marco legal regulatorio. El MERCOSUR no se menciona como comparativo contra la UE, dado que al momento, si bien está establecido un marco regulatorio en términos de salud ocupacional (MERCOSUR/CMC/REC. N° 01/20 “GUIA DE SALUD Y SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES EN EL MERCOSUR”) donde se establecen una serie de derechos y obligaciones de los trabajadores y empleadores, no se establece específicamente valores límites de exposición para el bloque ni se analizan las discrepancias entre los estados miembros en términos de comparación de normativa.

Desde el punto de vista de la exposición analizada se puede resumir lo siguiente:

País / Región	Nivel máximo admisible ( $L_{Aeq,d}$ , dB)	Tasa Intercambio <sup>11</sup> (dB)	Nivel de Pico admisible ( $L_{C,Pico}$ , dB)	Tipo Respuesta Medidor
España	87	No especifica	140	Lenta
UE	87	No especifica	140	No menciona
EEUU	90	5	140	Lenta
México	90	3	90 <sup>12</sup>	Rápida
Argentina	85	3	140	Lenta
Chile	85	3	140	Lenta
Uruguay	80	No especifica	No menciona	No menciona

**Tabla 9.1 Comparación de niveles admisibles en normativa sobre exposición ocupacional a ruido en países seleccionados**

Como se puede apreciar en la Tabla 9.1, no hay un criterio universal para la determinación del nivel máximo admisible, lo que es particularmente sensible considerando que se duplica la potencia acústica cada 3 dB de diferencia. Esto hace que los niveles admisibles en EEUU y México sean energéticamente el doble que España y la UE, y a su vez, estos, son más de cuatro veces la reglamentación de Uruguay.

A su vez, al definir que las mediciones se realicen con respuesta lenta, se puede estar subvalorando la exposición, por la subvaloración de las fluctuaciones instantáneas por el prolongado tiempo de integración (1 s).

<sup>11</sup> Tasa Intercambio refiere al incremento del nivel máximo de exposición para la mitad de jornada equivalente; notar que en la norma EEUU es 5 dB mayor al máximo diario permitido.

<sup>12</sup> En la definición de la tabla de los límites máximos permisibles de exposición, textualmente: *de los trabajadores a ruido estable, inestable o impulsivo durante el ejercicio de sus labores, en una jornada laboral de 8 horas, según se enuncia en la Tabla A.1.*

País / Región	Nivel de acción ( $L_{Aeq,d}$ )	Periodicidad de las Audiometrías	Condiciones de Afectación
España	Máximo 85	Mínimo cada 3 años	Pérdida mayor a 25 dB en promedio 500 – 1000 – 2000 - 3000 Hz
	Mínimo 80	Mínimo cada 5 años	
UE	Máximo 85	Lo deja a criterio de los Estados miembros	Lo deja a criterio de los Estados miembros
	Mínimo 80		
EEUU	85	Anual	Promedio mayor a 25 dB en el rango 250 a 3000 Hz
México	Mayor que 85	Semestral	Audiometría 250-500-1000-2000-4000-8000 Hz. No especifica criterios de acción
	80-85	Anual	
Argentina	No menciona	Anual	Suma de pérdidas en 500,1000,2000 y 4000 Hz comparando contra la tabla presentada en 4.2.6
Chile	82 a 85	3 años	Promedio (1000,2000,3000,4000 y 6000 Hz) mayor a 25 dB
	85 a 95	2 años	
	mayor a 95	Anual	
Uruguay	80	Anual	Si hay pérdida en la zona de la palabra, pasa a seguimiento por parte del BSE. La pérdida se evalúa según DPU

**Tabla 9.2 Comparación de niveles de acción y vigilancia poblacional en normativa sobre exposición ocupacional a ruido en países seleccionados**

En todos los casos analizados se prevé un accionar tardío, dado que la pérdida auditiva inicial se instala en los 4000-6000 Hz y en todos los casos, al promediar directamente o con ponderación (como en el DPU) con un peso menor que se sitúa entre 0,10 en el caso de DPU que se aplica en Uruguay y 100 % en ELI para dicha frecuencia, se verifica un accionar cuando la pérdida auditiva ya está consumada y no un accionar preventivo, como sería deseable.

También la periodicidad de evaluación en algunos casos es cuestionable, dado que un intervalo tan grande como los que se aplican en España o Chile, puede conducir a no atender una afectación preventivamente por no identificarla a tiempo.

Respecto a los criterios de resarcimiento y niveles, en lo que sigue se analizan los casos latinoamericanos: Argentina, Chile y Uruguay.

En el caso de Argentina, el procedimiento es descrito en el apartado 6.1.1.5, donde por un lado se valora como un 42 % máximo de salario y se pondera 5:1 el mejor oído en relación al peor, por lo cual, en la vía de los hechos, a los efectos médico-legales solo son resarcidos adecuadamente quienes presentan pérdidas bilaterales. Desde el punto de vista de las frecuencias utilizadas en el cálculo, se valoran las

frecuencias en la zona de la palabra (500 – 1000 – 2000) y 4000 Hz con la misma importancia (ponderación 0,25).

En el caso de Chile, dado que el cálculo porcentual es análogo al caso de Argentina aplica el mismo criterio, con la consideración de que el factor multiplicador es 65 % contra el 42 % de Argentina. Con respecto de las frecuencias analizadas, son: 1000 – 2000 – 3000 – 4000 y 6000 Hz, por lo que se considera más adecuado, dado que las pérdidas son más pronunciadas en el entorno de los 4000 Hz y se extiende el pico hacia las frecuencias audiométricas aledañas, por lo que la pérdida podría ser determinada antes. Además, las frecuencias en que comienza la pérdida auditiva ocupacional resultan con un peso mayor comparado al caso argentino.

En el caso de nuestro país, desde el punto de vista médico legal se aplican los siguientes criterios del mismo modo que se expuso en el apartado 4.4:

- 1.- Se considera pérdida auditiva a partir de los 25 dB, considerando un incremento de 0.5 dB anuales por presbiacusia a partir de los 40 años
- 2.- Para la valoración se utiliza la “zona de la palabra” (500 – 1000 y 2000 Hz) con el agregado de 4000 Hz, dado que es la frecuencia donde se detecta primeramente la pérdida auditiva
- 3.- Se realiza el cálculo del DPU (descenso promedio de umbrales auditivos en la zona de la palabra) para cada oído:

$$DPU = \frac{(2 * 500Hz + 4 * 1000Hz + 3 * 2000Hz + 1 * 4000Hz)}{10}$$

Los valores de DPU para cada oído se hacen cruzar con la siguiente tabla adaptada del Baremo francés en las que las filas horizontales están los valores para el oído más sordo (peor oído) y en las columnas verticales los valores del oído menos sordo (mejor oído).

	00-25	25-35	35-45	45-55	55-65	65-80	80-90
00-25	0	3	5	8	12	15	20
25-35	3	8	12	15	20	25	30
35-45	5	12	18	24	30	32	40
45-55	8	15	24	35	40	45	50
55-65	12	20	30	40	50	60	60
65-80	15	25	35	45	60	70	70
80-90	20	30	40	50	60	70	70

**Tabla 9.3 Valores de DPU a considerar en la evaluación de pérdida auditiva**

La cifra así obtenida se multiplica por el factor 0.71 tanto si el daño hubiere sido mono o binaural. Se accede así al porcentaje de incapacidad laboral permanente parcial por hipoacusia de etiología laboral que aún es posible de seguir siendo personalizado en los casos que quepa aplicar los coeficientes previstos en los art. 13 y 14 del capítulo “Consideraciones generales de la tabla Médico – Legal de Incapacidades Laborales”, expuestos a continuación.

Los criterios con los porcentajes obtenidos son:

- Sordera unilateral – Pérdida TOTAL 15 %
- Ídem Bilateral – Pérdida TOTAL 50 %
- Acúfenos o tinitus unilaterales e intensos 3 %
- Ídem bilaterales permanentes e intensos 5 %

En el art. 13 citado, se definen:

*I.- Para el caso de secuelas de enfermedades profesionales que se acompañen de:*

*a.- imposibilidad de reubicación dentro de su puesto de trabajo en lugares o condiciones que no impliquen una re-exposición a la noxa etiológica responsable de la patología y*

*b.- de una indicación médica calificada de no proseguir desempeñando las tareas laborales habituales en el mismo lugar de trabajo (siempre que esté debidamente fundamentada)*

*Se deberá otorgar un porcentaje de incapacidad mínimo de 50 % (art. 45 Ley 16074) y parcialmente con el art 3 del decreto 381/998 (subsidio transitorio y no renovable si el porcentaje no sube al 66 %)*

*II.- Para el caso de secuelas de los accidentes de trabajo que impidan directa e indiscutiblemente el desempeño de una actividad específica*

*a.- para la que requirió adquirir calificación laboral respaldada por lo menos por 3 años de calificación teórica debidamente certificada o al menos 10 años de específica práctica laboral documentada*

*b.- la misma sea en ese momento la fuente principal de su sustento.*

*En esta situación, siempre que se hayan aportado las pruebas convincentes deberá corregirse con el coeficiente de 0.15 la incapacidad laboral inicialmente estimada.*

En el art. 14 establece a su vez, que la mujer es más vulnerable frente al trauma físico debido a condicionamientos bio-psico-sociales, culturales e históricos. Por ello, a las secuelas de obreros de sexo femenino se ha considerado justo corregirlas mediante coeficiente 0.05.

En la comparación con los otros países analizados, a los efectos de la evaluación de la pérdida, la frecuencia de 4000 Hz tiene peso sensiblemente menor (1:10 comparado con 1:4 Argentina y 1:5 Chile), por lo que la detección por esta vía será sensiblemente más tardía que en dichos países.

Desde el punto de vista del resarcimiento máximo: en Uruguay la pérdida total bilateral corresponde a un resarcimiento del 50 % del salario, lo que lo sitúa en un punto intermedio entre el 42 % de Argentina y el 65 % de Chile.

## 9.2 Análisis de Resultados de la base de datos de audiometrías

La base de datos de trabajo se compone de 737 audiometrías realizadas a 236 personas, considerando varias áreas operativas con diferencia de frecuencia de seguimiento, en el total de audiometrías, el máximo realizado a una persona es de 6, en un período entre 2005 – 2021 en ambos oídos en las siguientes frecuencias en Hertz:

125
250
500
1000
2000
4000
8000

**Tabla 9.4 Frecuencias audiométricas empleadas en el control de la población bajo estudio**

El no disponer de datos a 3000 Hz imposibilita la evaluación de algunos criterios de la norma en estudio.

Del total de audiometrías, solo 8 corresponden a personal femenino por lo que a todos los efectos se toman los datos de tablas para género masculino.

Los valores extremos en edades evaluadas son 19 y 65 años, con una distribución por edades:

hasta 25
26 - 35
36 – 45
46 – 55
56 – 65

**Tabla 9.5 Distribución por edades considerada en el análisis de la población bajo estudio**

Se analizan en primera instancia a nivel global considerando los criterios de la norma ISO 1999 versión de 1990, luego se analizan por separado según la clasificación siguiente:

PA: Planta Ácido

PL: Palas Mecánicas

PG: Planta Granulados

OP: Otros Planta (personal vinculado al área industrial pero no afectado directamente a alguna de las áreas mencionadas anteriormente)

AD: administración

### 9.2.1 Caso 1.- Promedio 500 – 1000 – 2000 Hz (SAL)

Análisis poblacional:

En primera instancia se analiza el conjunto global de datos con los criterios del método.

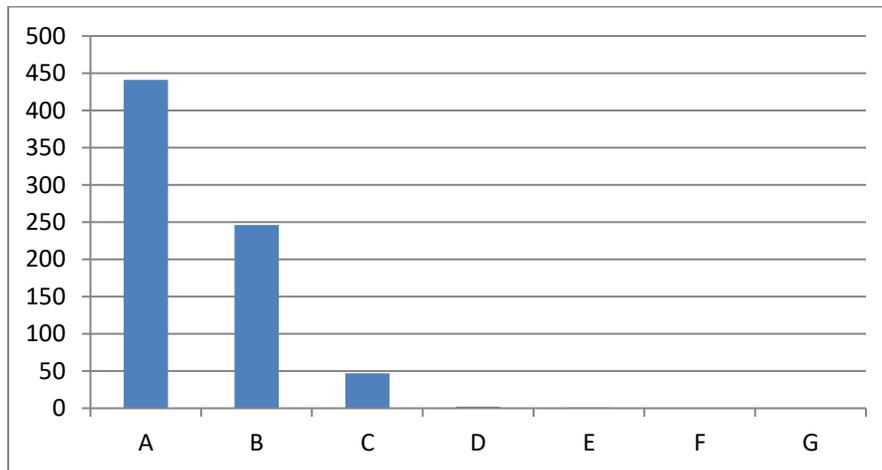
La clasificación de pérdida auditiva en este caso:

Grado	SAL (dB)	Nombre de Clase	Características
A	16 - oído peor	Normal	Los dos oídos están dentro de los niveles normales, sin dificultades en conversaciones en voz baja
B	16 - 30 uno de los oídos	Casi Normal	Tiene dificultades en conversaciones en voz baja, nada más
C	31 - 45 oído mejor	Ligero Empeoramiento	Tiene dificultades en conversaciones en una conversación normal pero no si se levanta la voz
D	46 - 60 oído mejor	Serio Empeoramiento	Tiene dificultades incluso cuando se levanta la voz
E	61 - 90 oído mejor	Grave Empeoramiento	Solo puede oír una conversación amplificada
F	90 oído mejor	Profundo Empeoramiento	No puede entender ni una conversación amplificada
G	Sordera Total en ambos oídos		No puede oír sonido alguno

**Tabla 9.6 Grados de pérdida auditiva según criterio SAL**

Desde esta perspectiva de evaluación, se entiende con necesidad de evaluación a todas las audiometrías clasificadas C y posteriores.

Para toda la población analizada se registra el gráfico de la Figura 9.1.



**Figura 9.1. Estado auditivo de la población, según criterio SAL**

Los datos para la obtención del gráfico se listan en la tabla a continuación, considerando la columna C+ como el total de audiometrías que debieron tener un análisis posterior desde ese criterio.

A	B	C	D	E	F	G	C+
441	246	47	2	1	0	0	50

Tabla 9.7 Número de casos por categoría, criterio SAL

Dado que el promedio de pérdida en las frecuencias 500 Hz – 1000 Hz – 2000 Hz se denomina SAL (Speech Average Loss), se grafican según los criterios el global de la población. Se analiza la misma base de datos en este criterio, en un caso (Figura 9.2) discriminando por plantas y en el otro (Figura 9.3) por edades.

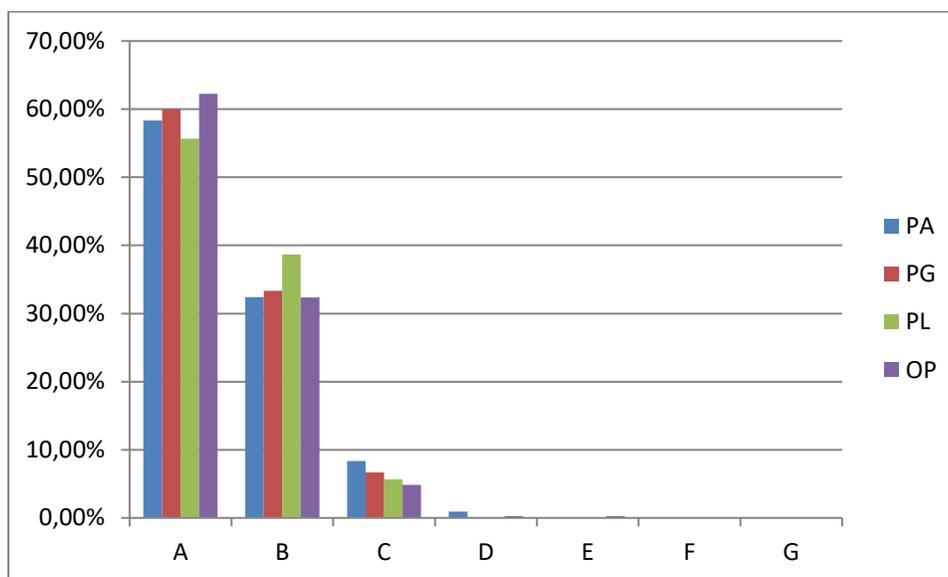


Figura 9.2. Estado auditivo de la población según criterio SAL, por planta

SAL	A	B	C	D	E	F	G
PA	58.33%	32.41%	8.33%	0.93%	0.00%	0.00%	0.00%
PG	60.00%	33.33%	6.67%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
PL	55.66%	38.68%	5.66%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
OP	62.26%	32.35%	4.85%	0.27%	0.27%	0.00%	0.00%

Tabla 9.8 Porcentaje de casos por categoría y por planta, criterio SAL

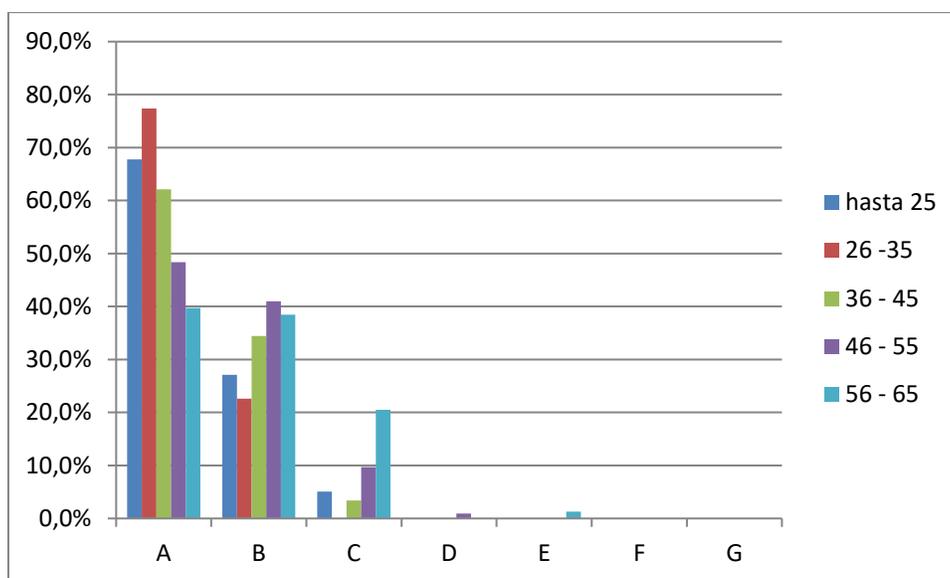
TEST ESTADÍSTICO DE FRIEDMAN POR PLANTAS - SAL														
	A		B		C		D		E		F		G	
PA	58.33%	7	32.41%	6	8.33%	5	0.93%	4	0.00%	2	0.00%	2	0.00%	2
PG	60.00%	7	33.33%	6	6.67%	5	0.00%	2.5	0.00%	2.5	0.00%	2.5	0.00%	2.5
PL	55.66%	7	38.68%	6	5.66%	5	0.00%	2.5	0.00%	2.5	0.00%	2.5	0.00%	2.5
OP	62.26%	7	32.35%	6	4.85%	5	0.27%	3.5	0.27%	3.5	0.00%	1.5	0.00%	1.5
Ri		28		24		20		12.5		10.5		8.5		8.5
Ri <sup>2</sup>		784		576		400		156.25		110.25		72.25		72.25

EST	20.30
Tabla 0.95	11.63

Rechazo H0: Las muestras no son equivalentes

**Tabla 9.9 Prueba de Friedman por categoría y por planta, criterio SAL**

Si bien el perfil se mantiene, a nivel planta los choferes de palas mecánicas (PL) tienen un mayor porcentaje en la clase B, mientras que son el grupo con menor porcentaje en la clase A.



**Figura 9.3. Estado auditivo de la población según criterio SAL, por edad**

Edad	A	B	C	D	E	F	G
hasta 25	67.8%	27.1%	5.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
26 -35	77.4%	22.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
36 - 45	62.1%	34.5%	3.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
46 - 55	48.4%	41.0%	9.7%	0.9%	0.0%	0.0%	0.0%
56 - 65	39.7%	38.5%	20.5%	0.0%	1.3%	0.0%	0.0%

**Tabla 9.10 Porcentaje de casos por categoría y por franja etaria, criterio SAL**

TEST ESTADÍSTICO DE FRIEDMAN POR EDADES - SAL														
Edad	A		B		C		D		E		F		G	
hasta 25	67.80%	7	27.12%	6	5.08%	5	0.00%	2.5	0.00%	2.5	0.00%	2.5	0.00%	2.5
26 -35	77.40%	7	22.60%	6	0.00%	3	0.00%	3	0.00%	3	0.00%	3	0.00%	3
36 - 45	62.14%	7	34.47%	6	3.40%	5	0.00%	2.5	0.00%	2.5	0.00%	2.5	0.00%	2.5
46 - 55	48.39%	7	41.01%	6	9.68%	5	0.00%	4	0.00%	2	0.00%	2	0.00%	2
56 - 65	39.74%	7	38.46%	6	20.51%	5	0.00%	2	1.28%	4	0.00%	2	0.00%	2
Ri		35		30		23		14		14		12		12

Ri <sup>2</sup>		1225		900		529		196		196		144		144
	EST	22.89												
	Tabla 0.95	11.84												

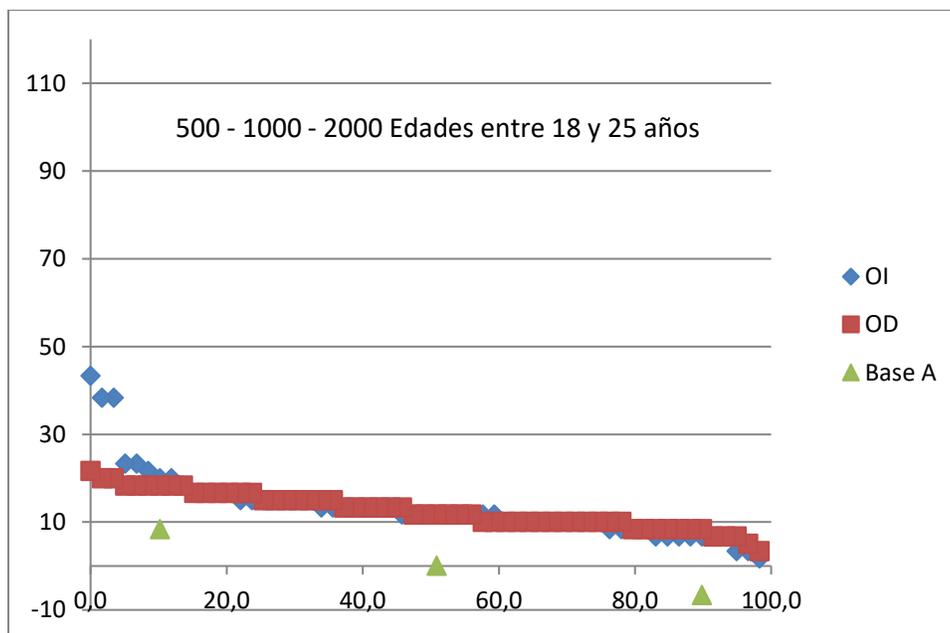
Rechazo H0: Las muestras no son equivalentes

**Tabla 9.11 Prueba de Friedman por categoría y por edades, criterio SAL**

Si bien el perfil del gráfico se mantiene, se detecta que un 5% de la población menor a 25 años y muestra “ligero empeoramiento” de la capacidad auditiva.

En un segundo nivel de análisis, se realiza una comparación contra las bases de datos B2 (Suecia) y B4 (EEUU), salvo en el caso hasta 25 años donde dichas bases de datos no están definidas y por ello se compara contra base de datos A, considerando los valores de las bases de datos y comparando con la población comprendida en un entorno de 5 años, obteniendo el siguiente perfil según los rangos de edades, graficando la pérdida en dB:

A los efectos de la evaluación de las poblaciones por plantas, para tener un número significativo de audiometrías se dividen por planta en: menores de 35 años, entre 36 y 45 años y mayores de 45 años, comparando respectivamente contra bases de datos a 30, 40 y 50 años.



**Figura 9.4. Comparación entre SAL y Base A, población de 18 a 25 años**

Se verifica una pérdida significativa en relación a la base A de estudio en todos los percentiles analizados

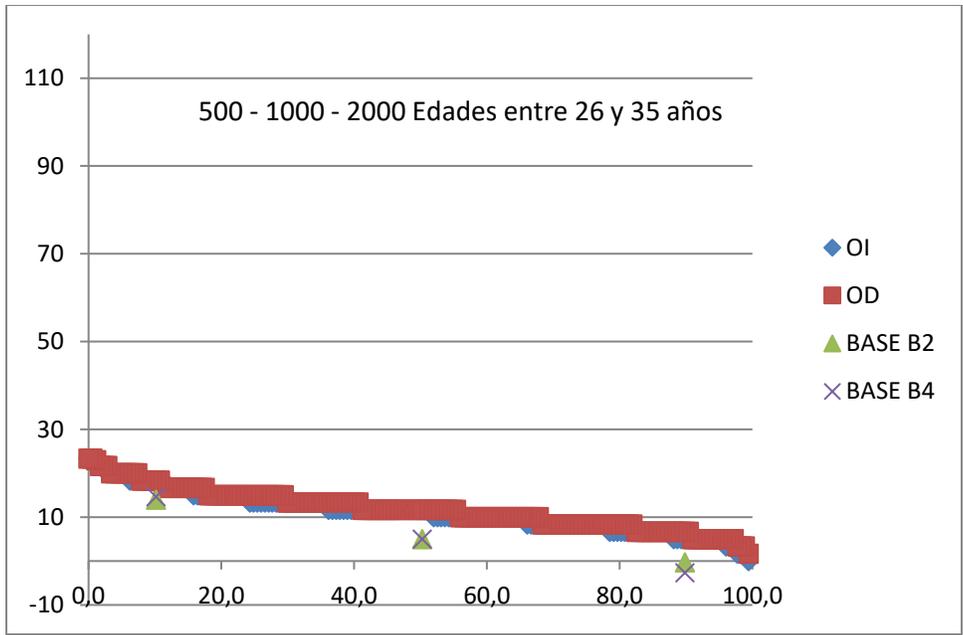


Figura 9.5. Comparación entre SAL y Bases B2 y B4, población de 26 a 35 años

Del mismo modo que el gráfico anterior y ya incluyendo las bases de datos de Suecia y EEUU, en todos los percentiles analizados la población supera la pérdida auditiva de las bases de datos.

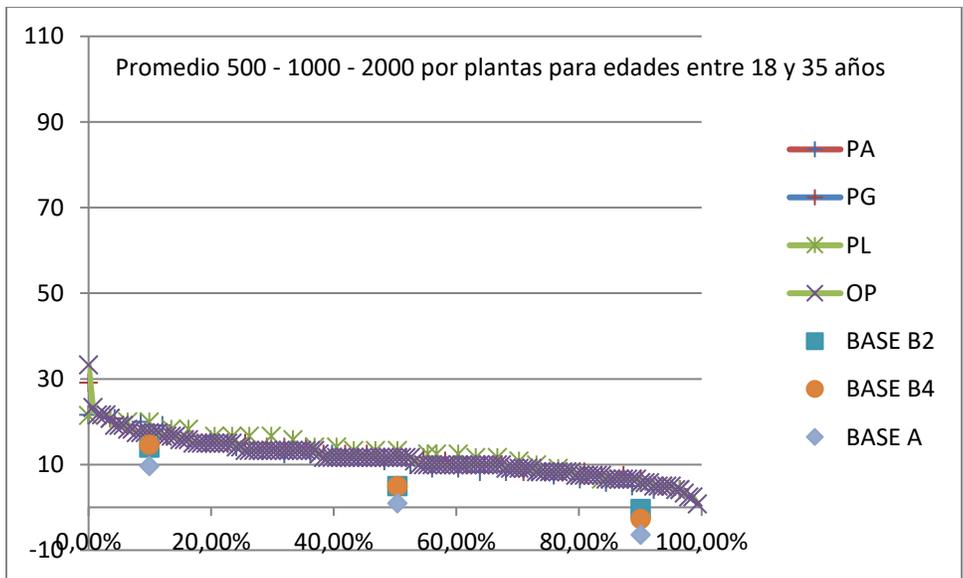


Figura 9.6. Comparación entre SAL y Bases A, B2 y B4, población de 18 a 35 años por planta

En el gráfico de la Figura 9.6 para el rango de edades entre 18 y 35 años comparado con las bases de datos B2, B4 y A a 30 años, en todas las plantas se verifica pérdida mayor a las tabuladas, no distinguiéndose un grupo de personas específico según los puestos de trabajo involucrados.

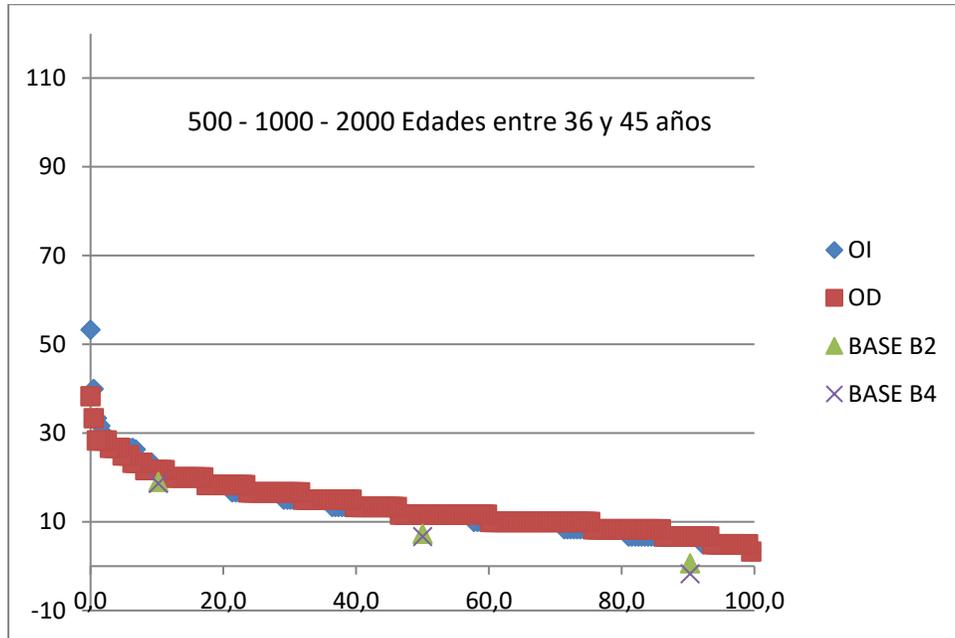


Figura 9.7. Comparación entre SAL y Bases B2 y B4, población de 36 a 45 años

Si bien en general se mantiene la tendencia de pérdida poblacional superior a las bases de datos, las mayores pérdidas comparativas se dan en los percentiles más altos, siendo el percentil 10 del orden de los valores obtenidos en las bases de datos para esa edad.

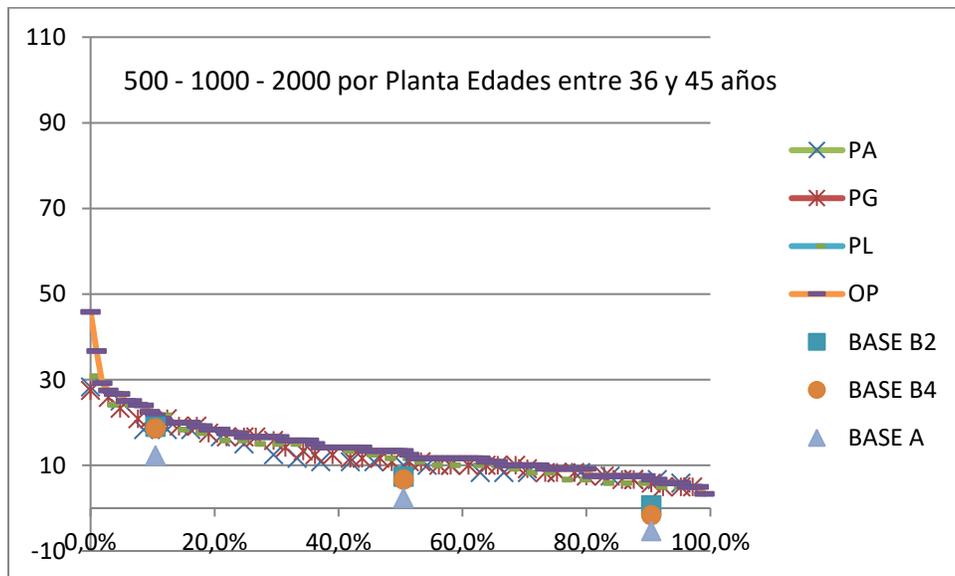
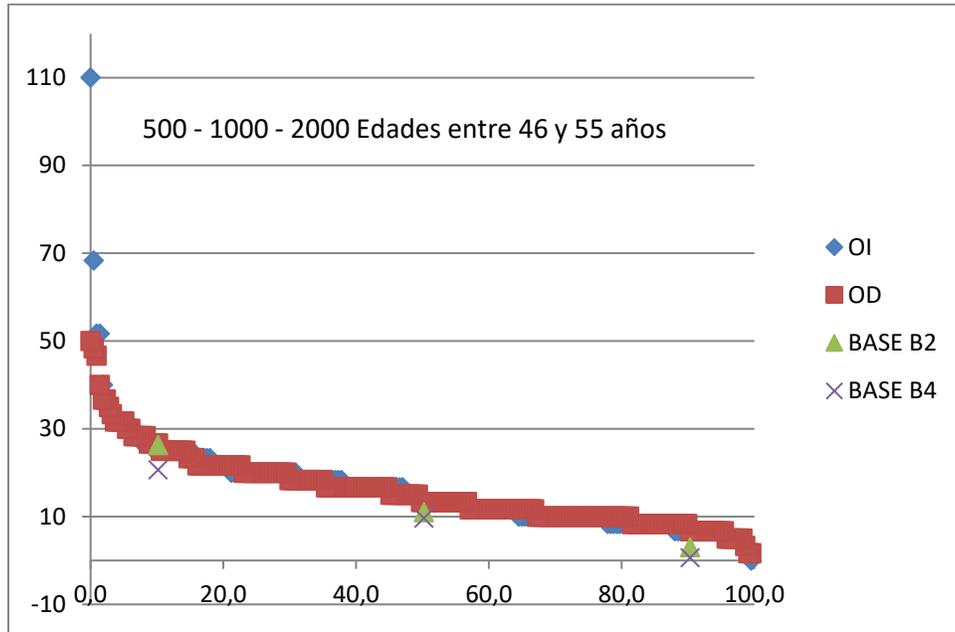


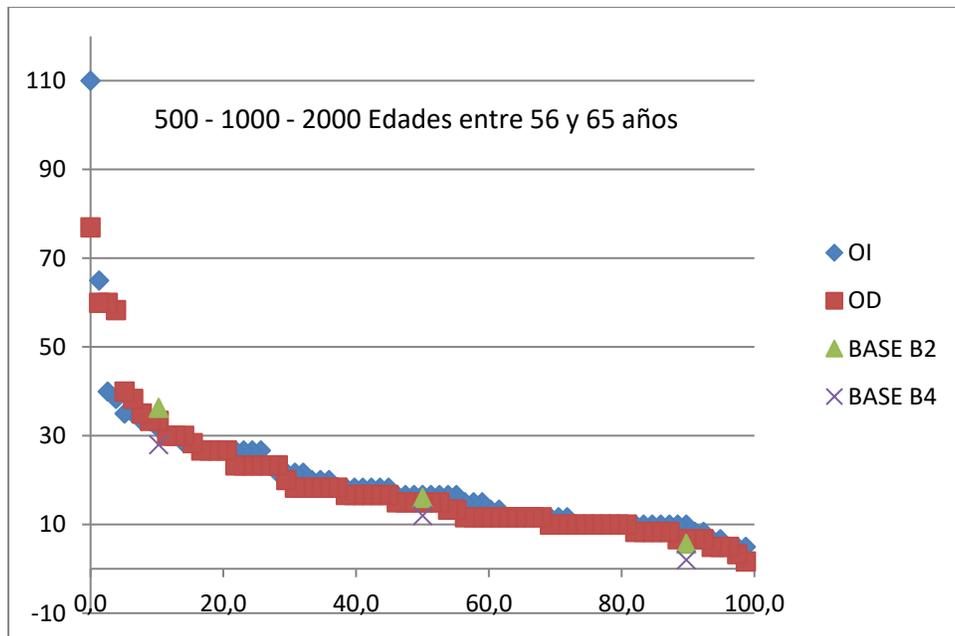
Figura 9.8. Comparación entre SAL y Bases A, B2 y B4, población de 36 a 45 años según planta

Del mismo modo que en el gráfico por plantas de la Figura 9.8, los perfiles por planta son similares.

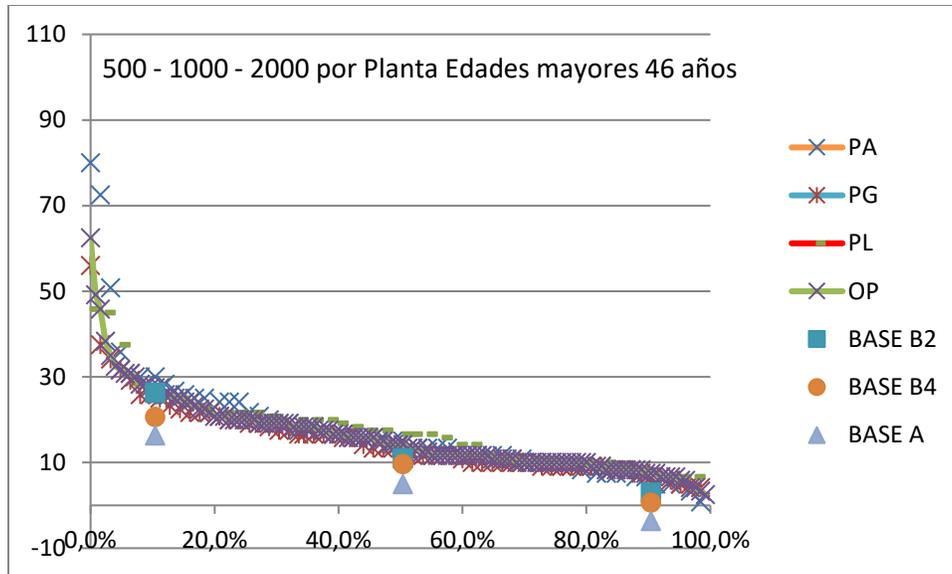


**Figura 9.9. Comparación entre SAL y Bases B2 y B4, población de 46 a 55 años**

Si bien los valores poblacionales son levemente superiores, las diferencias disminuyen a medida que se avanza en edad.



**Figura 9.10. Comparación entre SAL y Bases B2 y B4, población de 56 a 65 años**

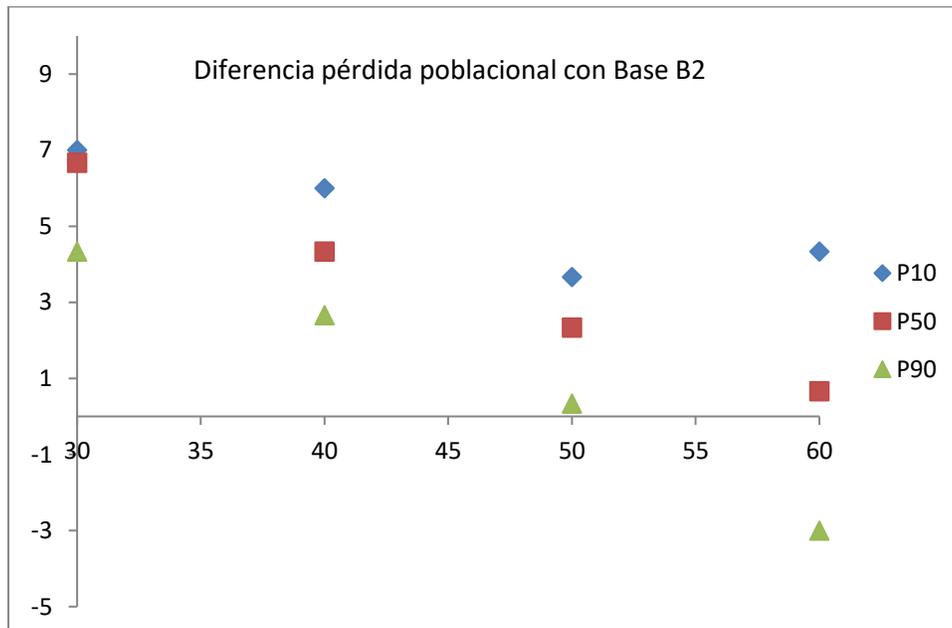


**Figura 9.11. Comparación entre SAL y Bases A, B2 y B4, población mayor a 46 años por planta**

Nuevamente los perfiles son similares en las distintas plantas, algo mayores a las bases consideradas.

Como conclusiones de este análisis cualitativo se puede observar que en general la pérdida es bilateral proporciones similares dado que los perfiles obtenidos son muy similares para las mediciones de los dos oídos y que la pérdida poblacional observable es mayor a las dos bases de datos de comparación salvo en el caso del grupo comprendido entre 56 y 65 años.

Para visualizar este comparativo de pérdida contra las bases de datos se construye el siguiente gráfico.



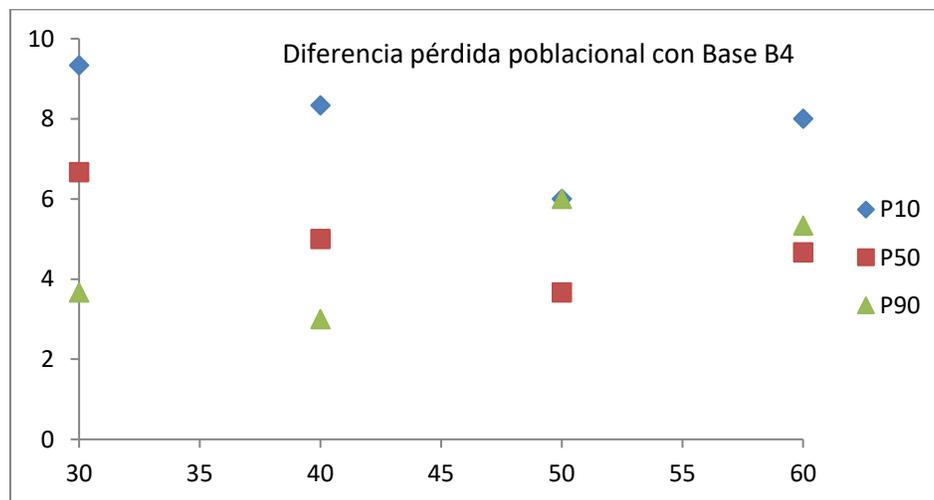
**Figura 9.12. Exceso de pérdida de la población bajo estudio y la Base B2, según edades**

Diferencia pérdida poblacional con Base B2			
Edad	P10 (dB)	P50 (dB)	P90 (dB)
30	7	7	4
40	6	4	3
50	4	2	0
60	4	1	-3

**Tabla 9.12 Exceso de pérdida en relación a la Base B2, por edad y percentil**

Dicha tabla se construye restando el valor de pérdida poblacional para cada uno de los percentiles contra el valor de la base correspondiente.

Intuitivamente si se considera únicamente la pérdida profesional, dado que en las bases de datos la presbiacusia ya está considerada, se esperaría un mayor exceso en la población de mayor edad dado el tiempo de exposición acumulado, pero por el contrario, los mayores apartamientos se registran en el grupo compuesto por los más jóvenes, lo cual implica un riesgo mayor para el posible impacto no valorado de la socioacusia en la población más joven, o, como planteaban Lafon y Duclos (1978), puede deberse a una aceleración de pérdida asociada al ámbito laboral en los primeros años de exposición.



**Figura 9.13. Exceso de pérdida de la población bajo estudio y la Base B4, según edades**

Diferencia pérdida poblacional con Base B4			
Edad	P10	P50	P90
30	9	7	4
40	8	5	3
50	6	4	6
60	8	5	5

**Tabla 9.13 Exceso de pérdida en relación a la Base B4, por edad y percentil**

En este caso, las diferencias observables son aún mayores a la base B2, en todos los casos la pérdida poblacional es mayor a la comparación anterior.

### 9.2.2 Caso 2.- Promedio 500 – 1000 – 2000 – 4000 Hz

En este método se analizan los subgrupos por edad y por plantas contras las bases de datos del mismo modo que en el apartado anterior, con la diferencia que en el promedio se incluye la frecuencia de 4000 Hz, dado que son las frecuencias consideradas por la BIAP para la evaluación de la pérdida, se realiza en primera instancia un análisis con dichos criterios de la población total:

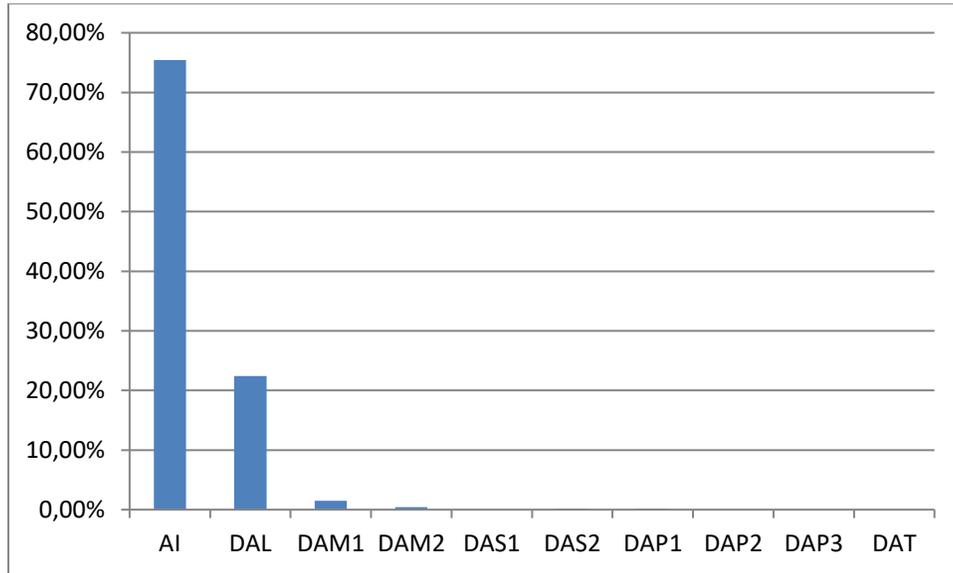


Figura 9.14. Estado auditivo de la población, según criterio  $(500+1000+2000+4000)/4$

AI	DAL	DAM1	DAM2	DAS1	DAS2	DAP1	DAP2	DAP3	DAT
75.44%	22.39%	1.49%	0.41%	0.00%	0.14%	0.14%	0.00%	0.00%	0.00%

Tabla 9.14 Porcentaje de casos por categoría, criterio  $(500+1000+2000+4000)/4$

Con:

AI (Audición infranormal)

La pérdida tonal media no sobrepasa 20 dB.

DAL (Deficiencia auditiva ligera).

La pérdida tonal media entre 21 dB y 40 dB.

Deficiencia auditiva mediana.

Primer grado: La pérdida tonal media está entre 41 y 55 dB. (DAM1)

Segundo grado: La pérdida tonal media está entre 56 y 70 dB. (DAM2)

Deficiencia auditiva severa.

Primer grado: La pérdida tonal media está entre 71 y 80 dB. (DAS1)

Segundo grado: La pérdida tonal media está entre 81 y 90 dB. (DAS2)

Deficiencia auditiva profunda.

Primer grado: La pérdida tonal media está entre 91 y 100 dB. (DAP1)

Segundo grado: La pérdida tonal media está entre 101 y 110 dB. (DAP2)

Tercer grado: La pérdida tonal media está entre 111 y 119 dB. (DAP3)

Del mismo modo que en el caso anterior, se realizan los análisis por grupos de edades y por plantas, considerando a los efectos de la evaluación de las poblaciones por plantas, para tener un número significativo de audiometrías se dividen por planta en: menores de 35 años, entre 36 y 45 años y mayores de 45 años, comparando respectivamente contra bases de datos a 30, 40 y 50 años.

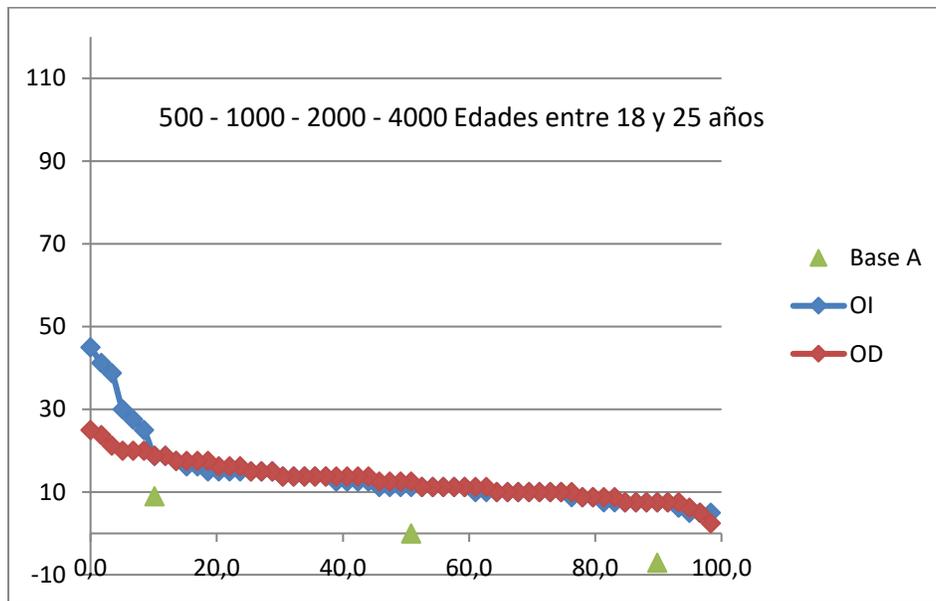


Figura 9.15. Comparación entre criterio  $(500+1000+2000+4000)/4$  y Base A, población de 18 a 25 años

Los comportamientos en la distribución poblacional son similares a los vistos en el apartado anterior con la pérdida poblacional superando a las bases de datos.

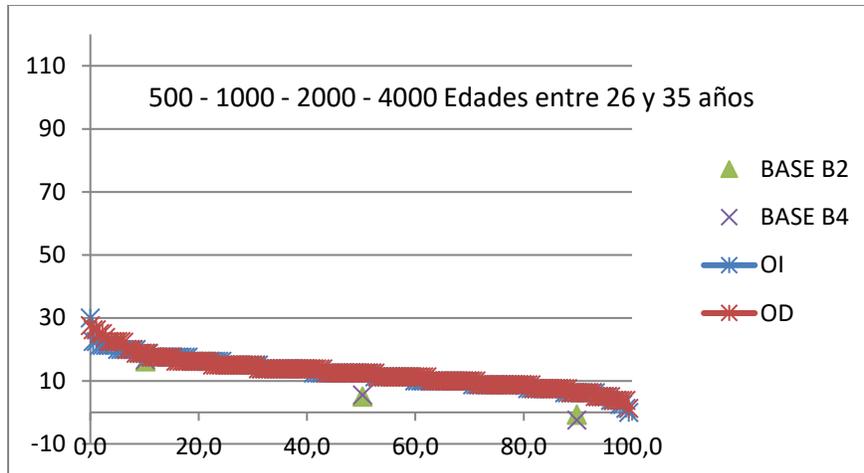


Figura 9.16. Comparación entre criterio  $(500+1000+2000+4000)/4$  y Bases B2 y B4, población de 26 a 35 años

Del mismo modo que en el apartado anterior, la pérdida poblacional supera a las bases de datos analizadas, y los perfiles por planta no difieren significativamente entre sí.

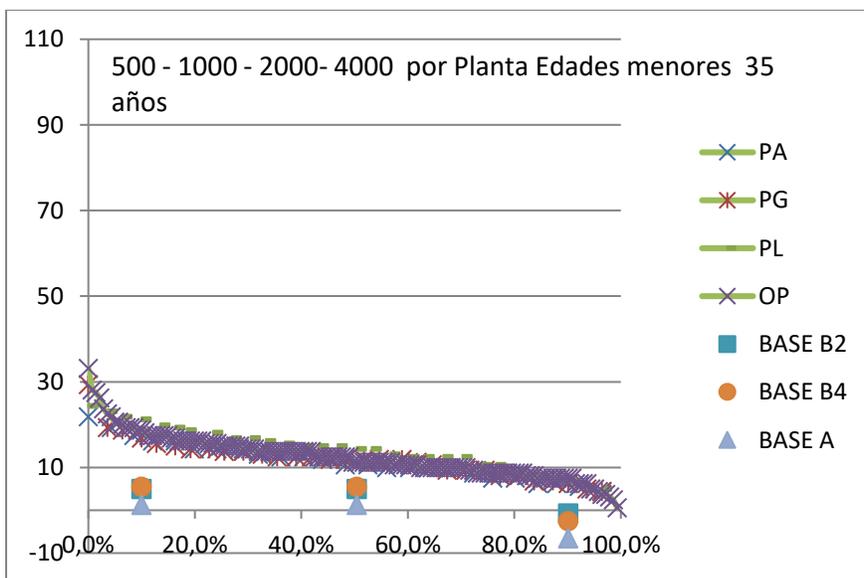


Figura 9.17. Comparación entre criterio  $(500+1000+2000+4000)/4$  y Bases A, B2 y B4, población menor que 35 años por planta

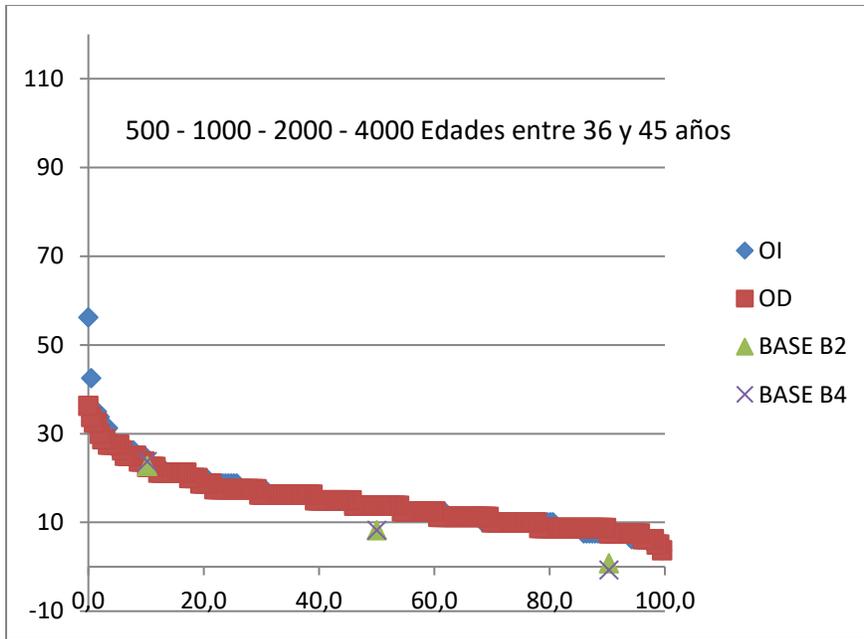


Figura 9.18. Comparación entre criterio  $(500+1000+2000+4000)/4$  y Bases B2 y B4, población entre 36 y 45 años

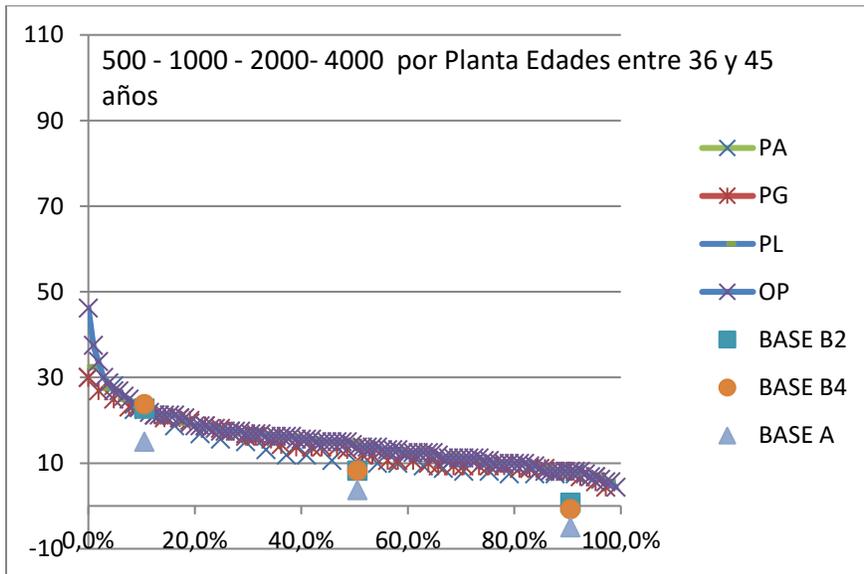


Figura 9.19. Comparación entre criterio  $(500+1000+2000+4000)/4$  y Bases A, B2 y B4, población de 36 a 45 años por planta

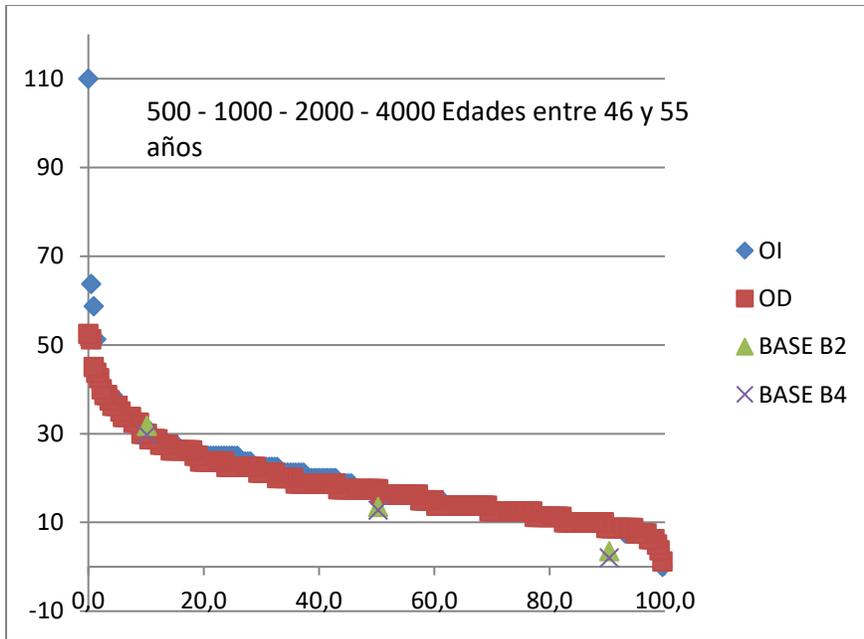


Figura 9.20. Comparación entre criterio  $(500+1000+2000+4000)/4$  y Bases B2 y B4, población de 46 a 55

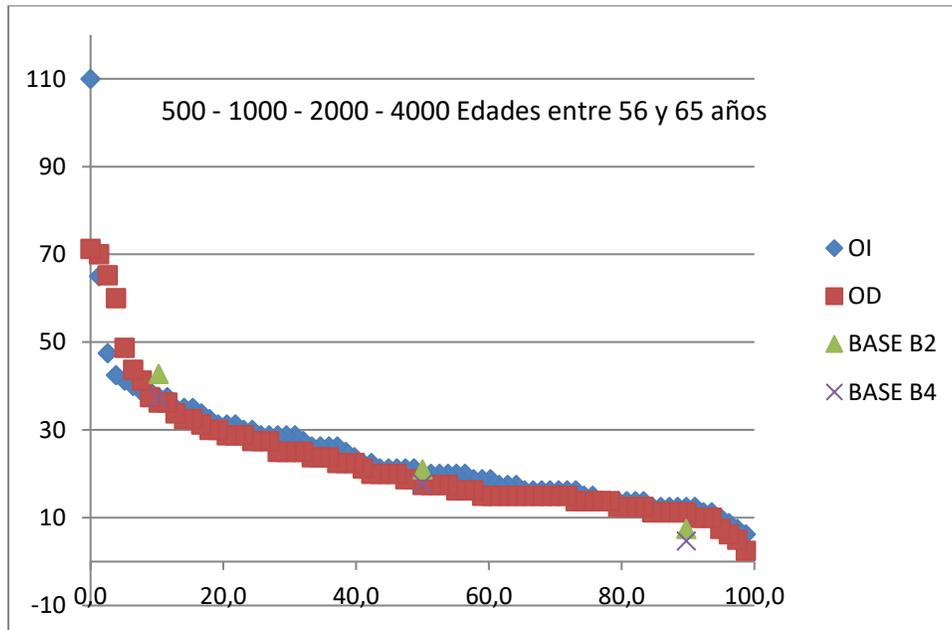


Figura 9.21. Comparación entre criterio  $(500+1000+2000+4000)/4$  y Bases B2 y B4, población de 56 a 65

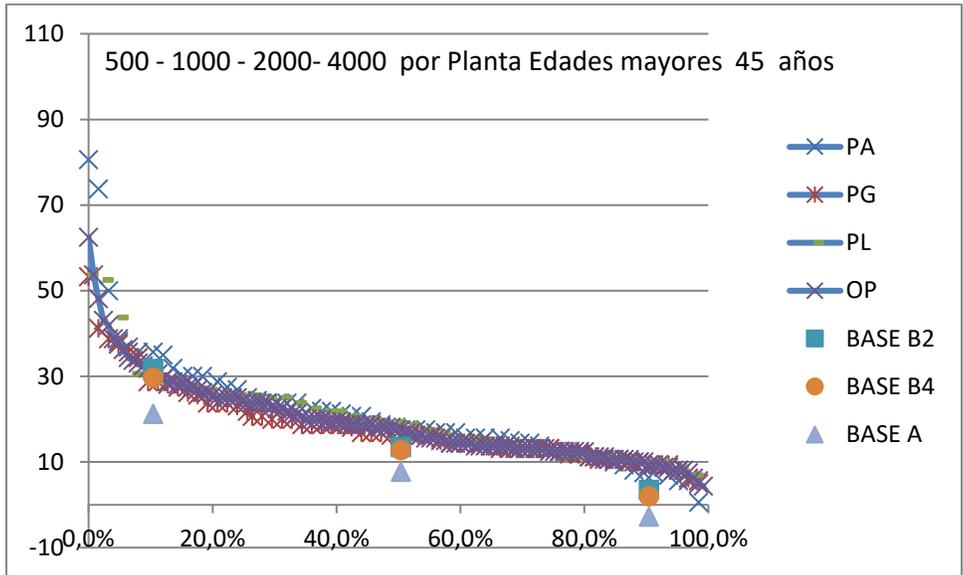


Figura 9.22. Comparación entre criterio  $(500+1000+2000+4000)/4$  y Bases A, B2 y B4, población mayor que 45 años por planta

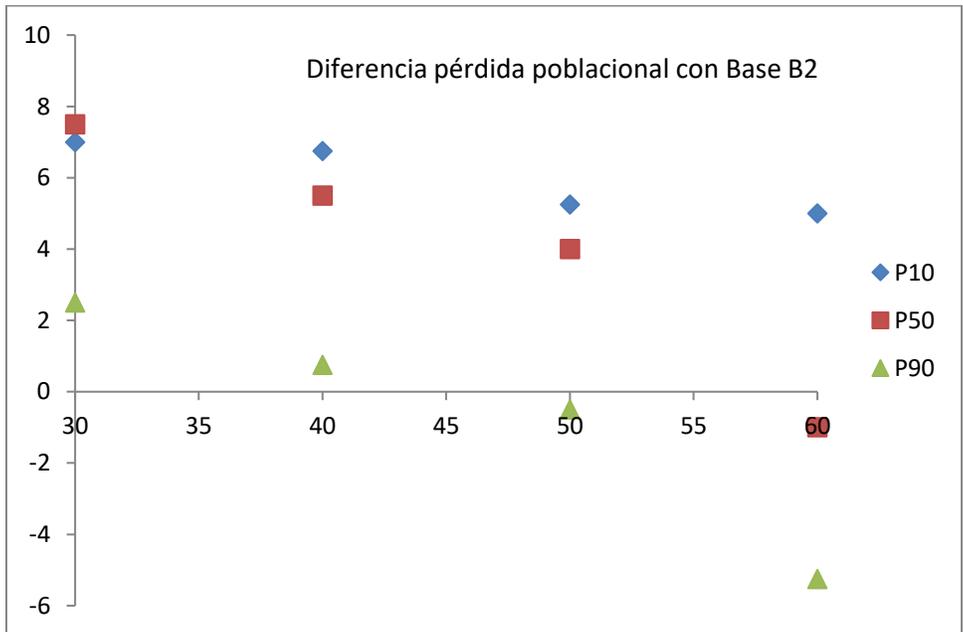


Figura 9.23. Exceso de pérdida de la población bajo estudio y la Base B2, según edades

Diferencia pérdida poblacional con Base B2			
Edad	P10(dB)	P50(dB)	P90(dB)
30	7	8	3
40	7	6	1
50	5	4	-1
60	5	-1	-5

Tabla 9.15 Exceso de pérdida en relación a la Base B2, por edad y percentil

De igual forma al caso anterior, la inclusión de la frecuencia de 4000Hz en el análisis no cambia el perfil observable de la distribución de los datos, sosteniéndose a su vez, la tendencia del mayor sesgo de la población más joven.

A su vez, la distribución por plantas tampoco cambia el perfil dado que el comportamiento es análogo para todas las plantas consideradas.

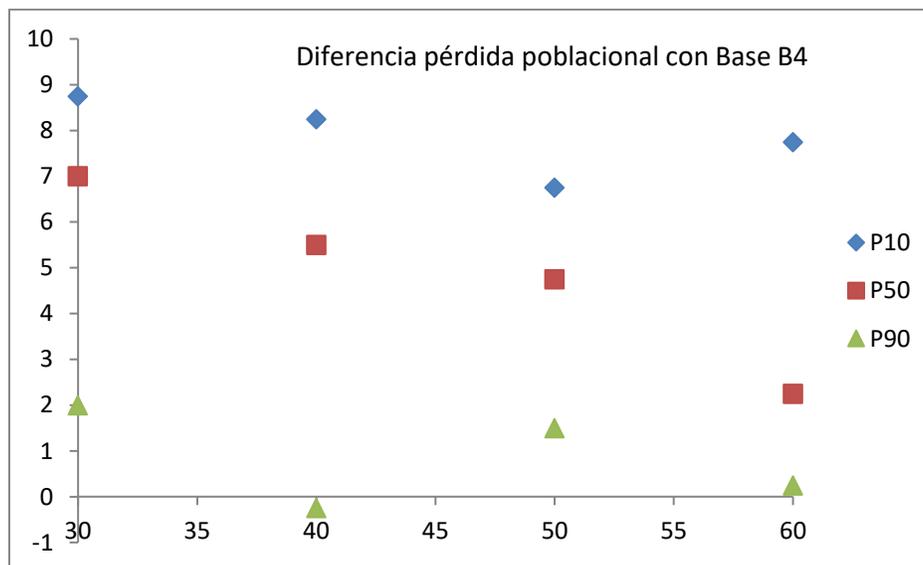


Figura 9.24. Exceso de pérdida de la población bajo estudio y la Base B4, según edades

Diferencia pérdida poblacional con Base B4			
Edad	P10(dB)	P50(dB)	P90(dB)
30	9	7	2
40	8	6	0
50	7	5	2
60	8	2	0

Tabla 9.16 Exceso de pérdida en relación a la Base B4, por edad y percentil

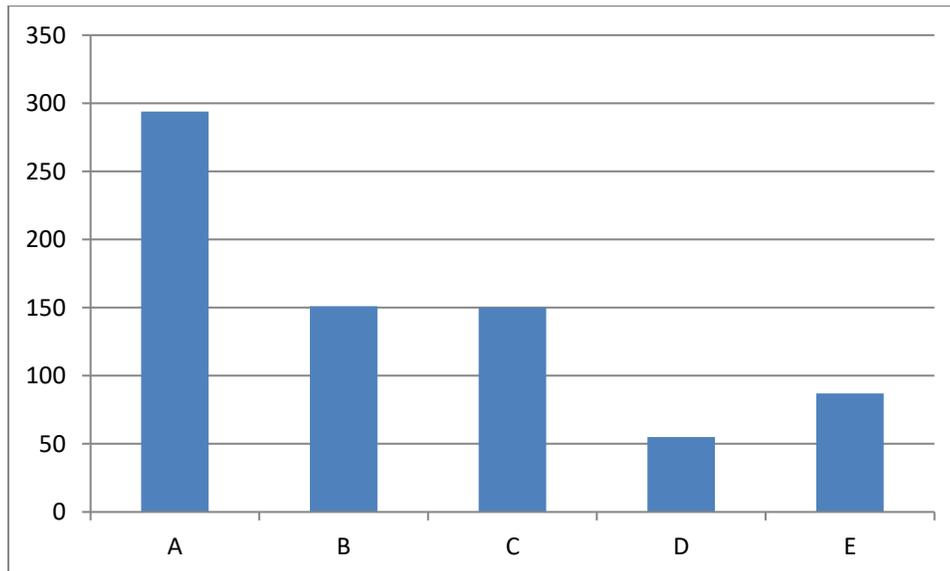
En este caso, del mismo modo que el caso anterior el sesgo es mayor en todos los casos y máximo para los más jóvenes.

### 9.2.3 Caso 3.- ELI (Early Loss Index - pérdida 4000Hz)

En primera instancia se realiza el índice a nivel del total de audiometrías considerando la presbiacusia según el criterio de determinación del índice, a efectos de determinar según dicho criterio cuantas audiometrías debieron de ser derivadas a un seguimiento por otorrinolaringólogo.

Pérdida corregida (dB)	Grado ELI	Clasificación
8>	A	Normal Excelente
8 – 14	B	Normal Buena
15 – 22	C	Normal
23 – 29	D	Sospecha de Sordera
< 30	E	Claro indicio de Sordera

**Tabla 9.17 Grados de pérdida auditiva según criterio ELI**



**Figura 9.25. Estado auditivo de la población, según criterio ELI**

A	B	C	D	E	D+E
294	151	150	55	87	142

**Tabla 9.18 Número de casos por categoría, criterio ELI**

Con dicho criterio 142 de 737 audiometrías debieron concluir pérdida auditiva.

Luego se realizan las subdivisiones del mismo modo que el caso anterior, por edades y por plantas

En primer lugar para ver la incidencia poblacional según la edad se realiza el gráfico discriminando por edades con la misma distribución del apartado anterior

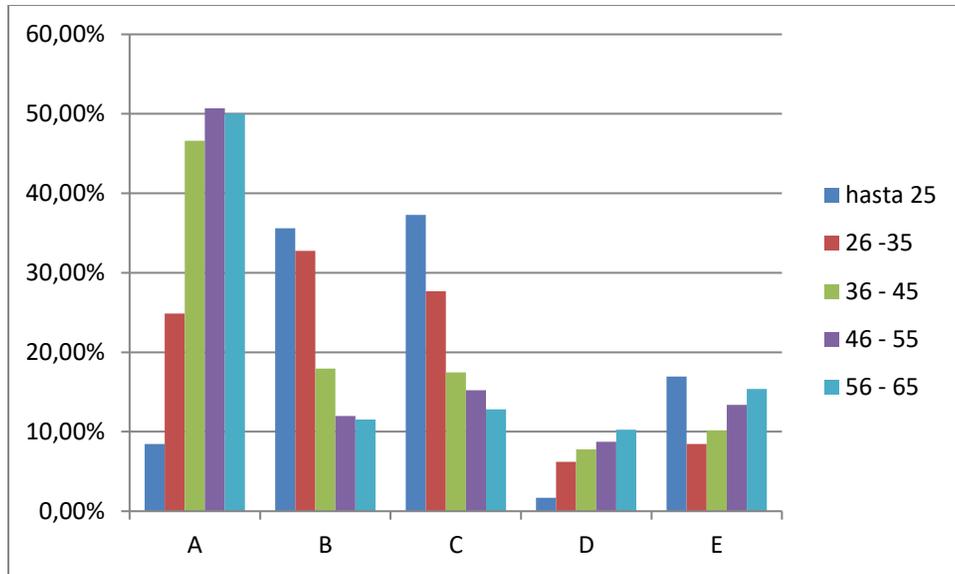


Figura 9.26. Estado auditivo de la población según criterio ELI, por edades

Edad	A	B	C	D	E
hasta 25	8.47%	35.59%	37.29%	1.69%	16.95%
26 - 35	24.86%	32.77%	27.68%	6.21%	8.47%
36 - 45	46.60%	17.96%	17.48%	7.77%	10.19%
46 - 55	50.69%	11.98%	15.21%	8.76%	13.36%
56 - 65	50.00%	11.54%	12.82%	10.26%	15.38%

Tabla 9.19 Porcentaje de casos según categoría y edad, criterio ELI

TEST ESTADÍSTICO DE FRIEDMAN POR EDADES - ELI										
Edad	A		B		C		D		E	
hasta 25	8.47%	2	35.59%	4	37.29%	5	1.69%	1	16.95%	3
26 - 35	24.86%	3	32.77%	5	27.68%	4	6.21%	1	8.47%	2
36 - 45	46.60%	5	17.96%	4	17.48%	3	7.77%	1	10.19%	2
46 - 55	50.69%	5	11.98%	2	15.21%	4	8.76%	1	13.36%	3
56 - 65	50.00%	5	11.54%	2	12.82%	3	10.26%	1	15.38%	4
Ri		20		17		19		5		14
Ri <sup>2</sup>		400		289		361		25		196

EST	11.68
Tabla 0.95	8.99

Rechazo H0: Las muestras no son equivalentes

Tabla 9.20 Prueba de Friedman por categorías y por edades, criterio ELI

Desde el punto de vista del análisis con fines preventivos la situación más alarmante desde este punto de vista es que el 17 % de las audiometrías de la población menor a 25 años ya muestra claras muestras de pérdida auditiva

La distribución por planta en este criterio:

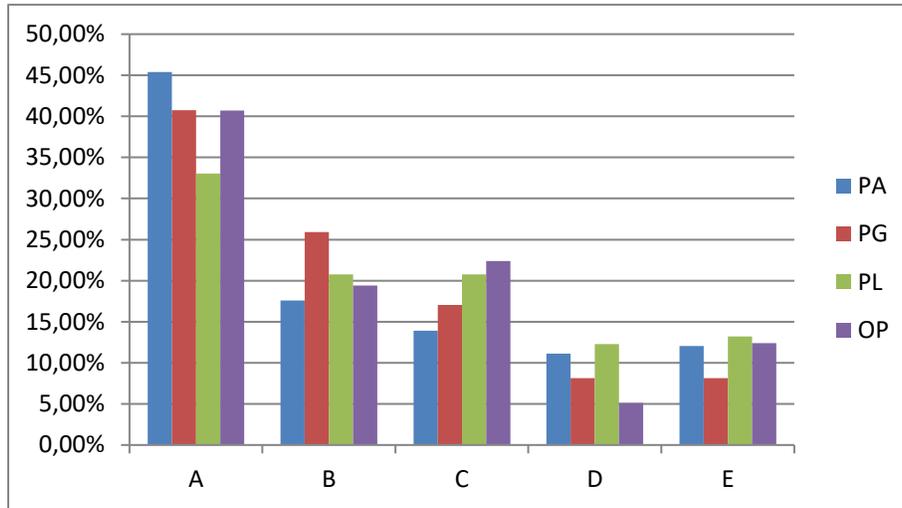


Figura 9.27. Estado auditivo de la población según criterio ELI, por planta

ELI	A	B	C	D	E	D+E
PA	45.37%	17.59%	13.89%	11.11%	12.04%	23.15%
PG	40.74%	25.93%	17.04%	8.15%	8.15%	16.30%
PL	33.02%	20.75%	20.75%	12.26%	13.21%	25.47%
OP	40.70%	19.41%	22.37%	5.12%	12.40%	17.52%

Tabla 9.21 Porcentaje de casos según categoría y plantas, criterio ELI

TEST ESTADÍSTICO DE FRIEDMAN POR PLANTAS - ELI										
	A		B		C		D		E	
PA	45.37%	5	17.59%	4	13.89%	3	11.11%	1	12.04%	2
PG	40.74%	5	25.93%	4	17.04%	3	8.15%	1.5	8.15%	1.5
PL	33.02%	5	20.75%	3.5	20.75%	3.5	12.26%	1	13.21%	2
OP	40.70%	5	19.41%	3	22.37%	4	5.12%	1	12.40%	2
Ri		20		14.5		13.5		4.5		7.5
Ri <sup>2</sup>		400		210.25		182.25		20.25		56.25

EST	14.9
Tabla 0.95	8.8

Rechazo H0: Las muestras no son equivalentes

Tabla 9.22 Prueba de Friedman por categorías y por plantas, criterio ELI

Desde esta perspectiva se confirma por una parte que no todas las plantas son equivalentes desde el punto de vista estadístico y en un análisis cualitativo de los datos, el grupo más afectado es el de los choferes (PL) dado que no solo el porcentaje D+E es el mayor sino que es el menor porcentaje en A.

A los efectos de una comparación cualitativa se replican los gráficos de los métodos anteriores, discriminados por rangos de edades.

A los efectos de la evaluación de las poblaciones por plantas, para tener un número significativo de audiometrías se dividen por planta en: menores de 35 años, entre 36 y 45 años y mayores de 45 años, comparando respectivamente contra bases de datos a 30, 40 y 50 años.

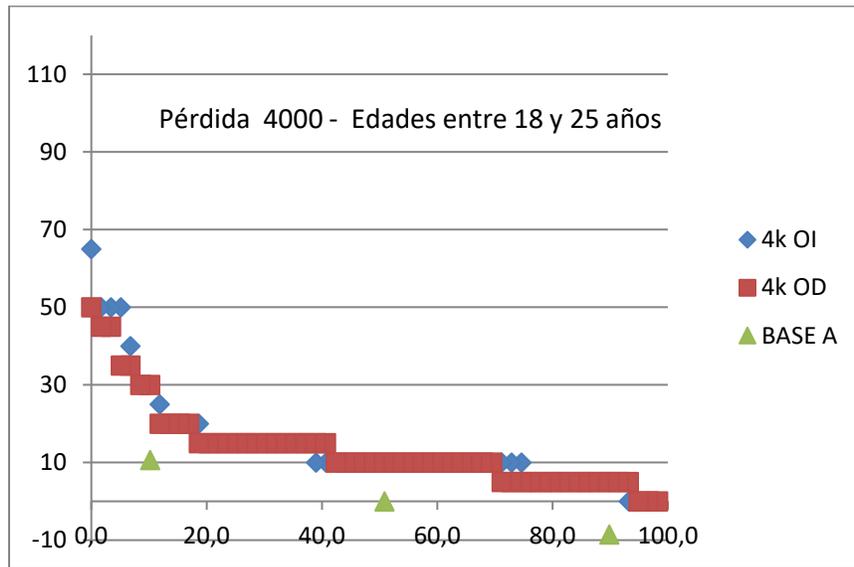


Figura 9.28. Comparación entre ELI y Base A, población de 18 a 25 años

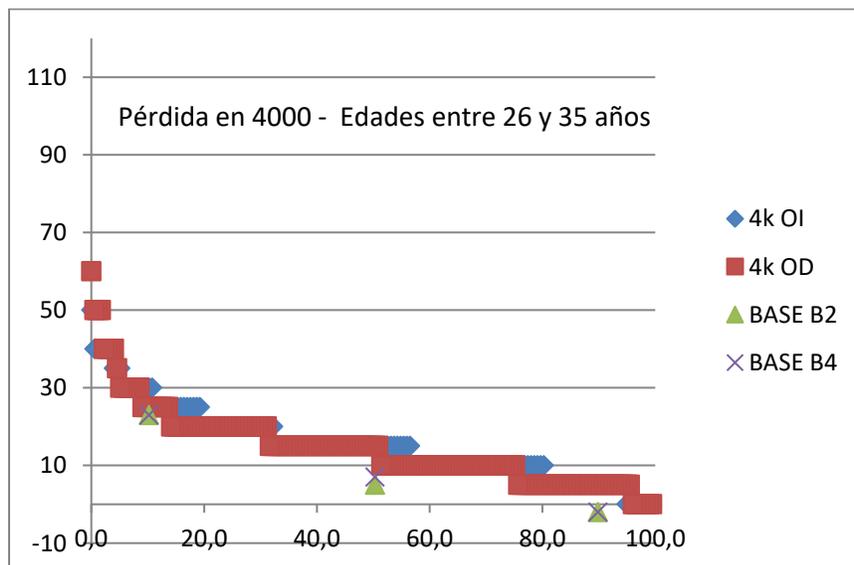


Figura 9.29. Comparación entre ELI y Bases B2 y B4, población de 26 a 35 años

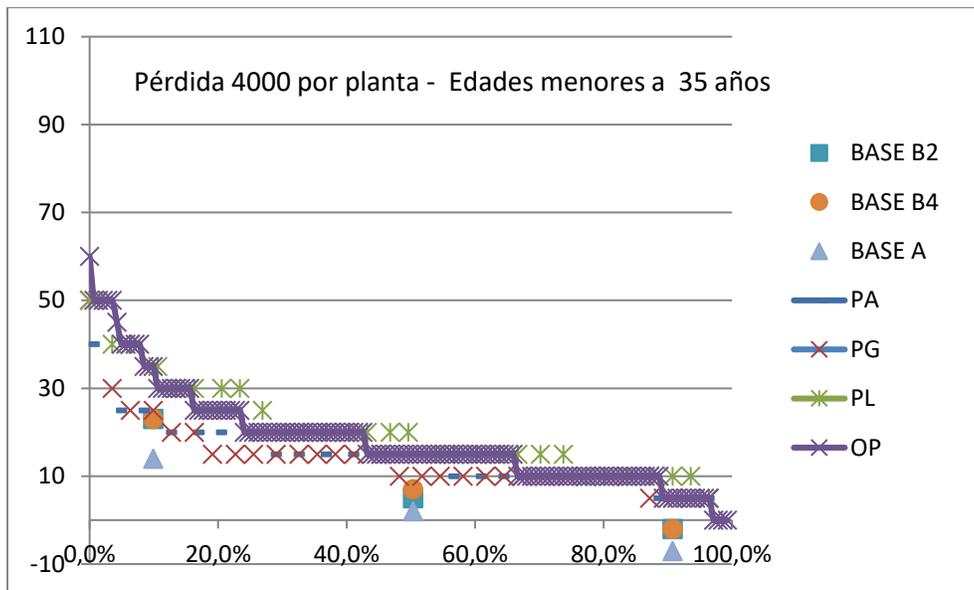


Figura 9.30. Comparación entre ELI y Bases A, B2 y B4, población menor que 35 años por planta

En este caso, que solo considera la pérdida en 4000 Hz, se ven ciertas diferencias en los comportamientos de las distintas poblaciones de las plantas, principalmente los perfiles de pérdida en los percentiles más bajos.

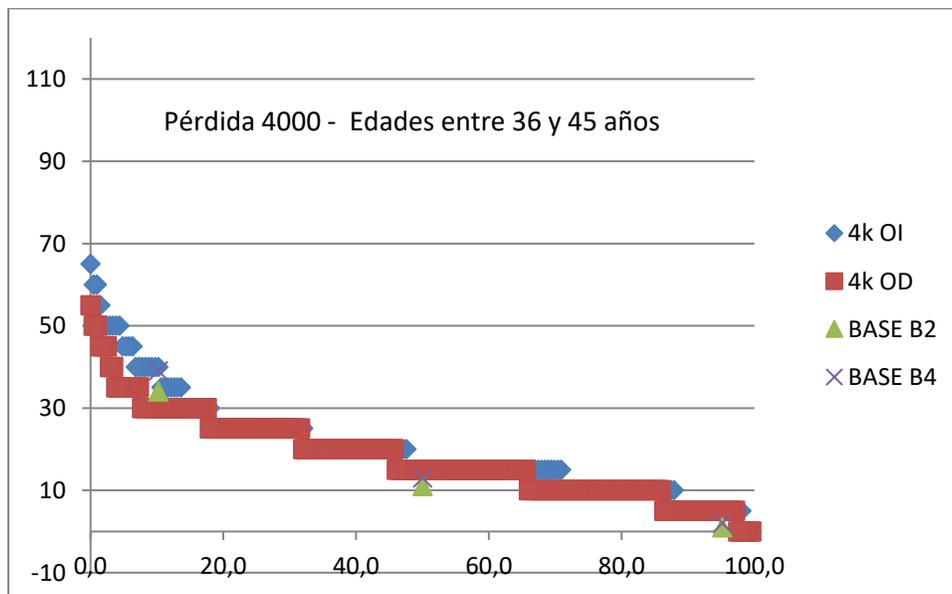


Figura 9.31. Comparación entre ELI y Bases B2 y B4, población de 36 a 45 años

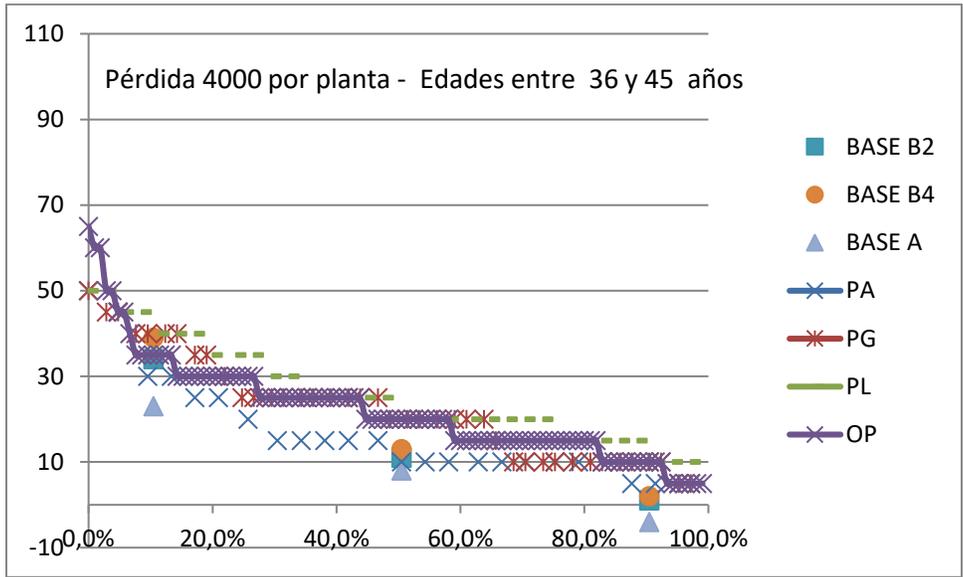


Figura 9.32. Comparación entre ELI y Bases A, B2 y B4, población de 36 a 45 años por planta

Se verifican distintos comportamientos de las distintas poblaciones, en el caso del percentil 50, la planta PA tiene una pérdida del orden de las bases de datos mientras que las otras tienen valores sensiblemente superiores.

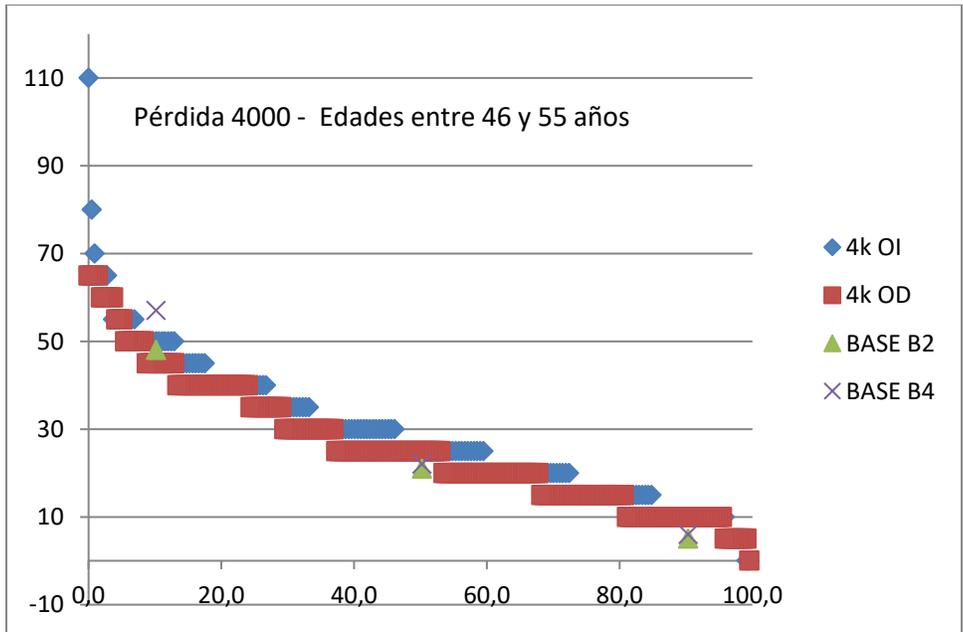


Figura 9.33. Comparación entre ELI y Bases B2 y B4, población de 46 a 55 años

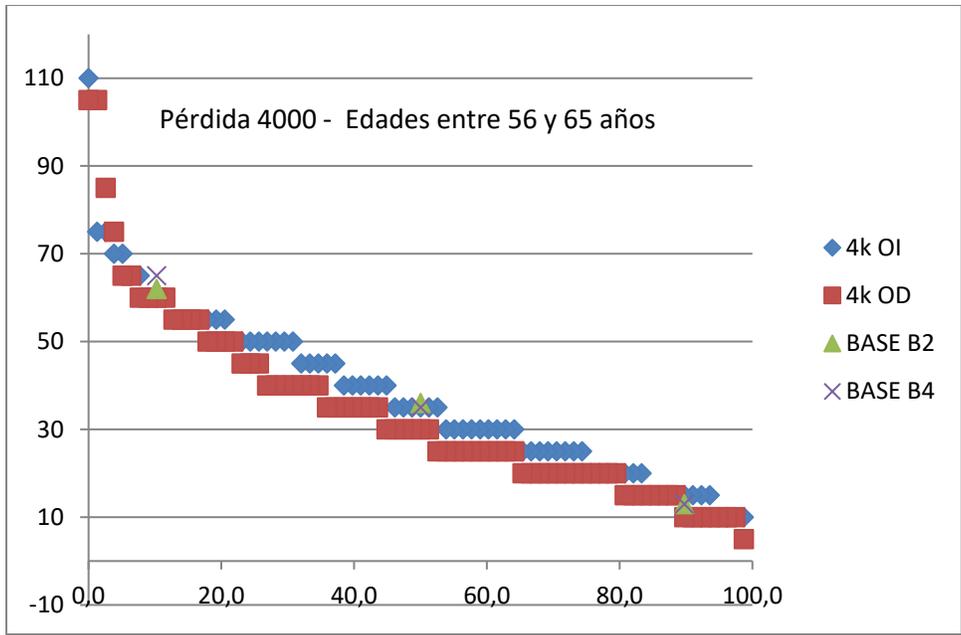


Figura 9.34. Comparación entre ELI y Bases B2 y B4, población de 56 a 65 años

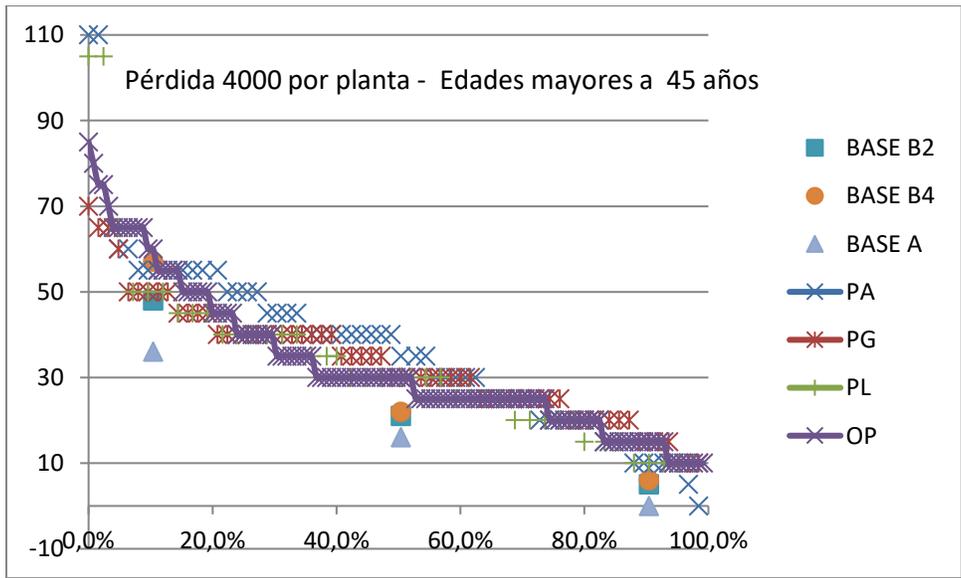


Figura 9.35. Comparación entre ELI y Bases A, B2 y B4, población mayor que 45 años según planta

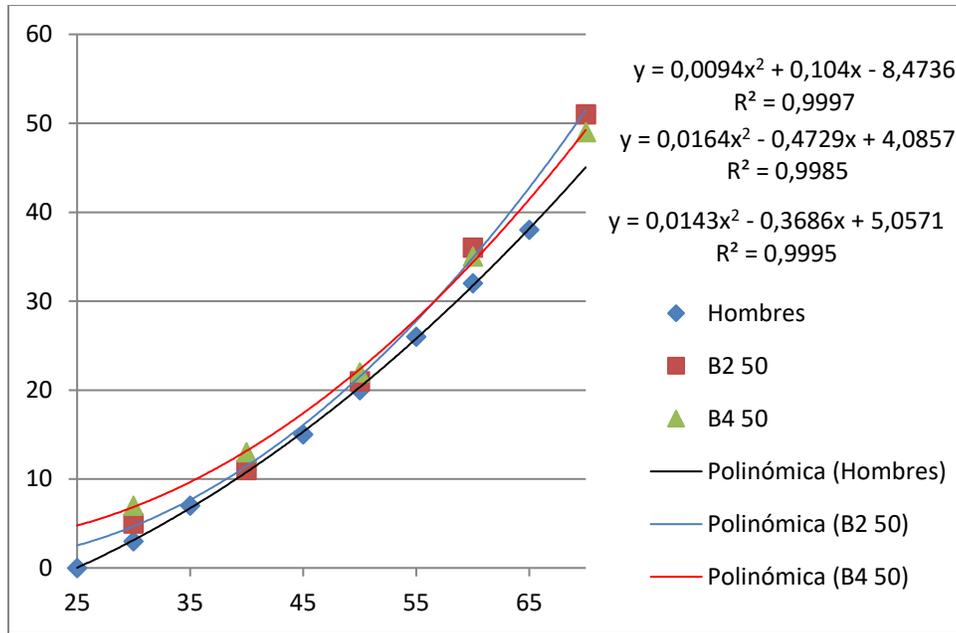


Figura 9.36. Curvas de ajuste de pérdida auditiva y Bases B2 y B4 según edades

Corrección por Presbiacusia a 4000Hz (dB)			
Edad	Hombres	B2 50	B4 50
25	0		
30	3	5	7
35	7		
40	11	11	13
45	15		
50	20	21	22
55	26		
60	32	36	35
65	38		
70		51	49

Tabla 9.23 Corrección por presbiacusia a 4000 Hz, según Bases B2 y B4

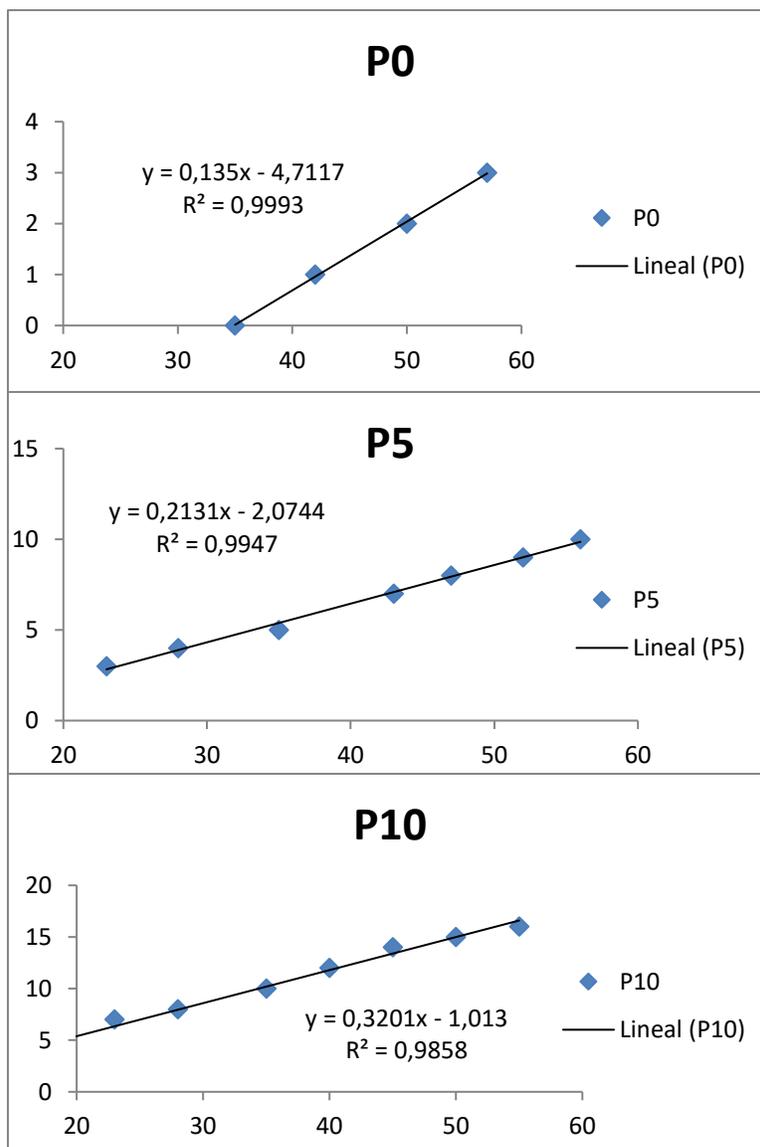
Tomando como referencia el ajuste por presbiacusia de las bases de datos en los percentiles 50 con respecto al método ELI para hombres se ve que, en todos los casos la pérdida en las bases de datos es mayor a la teórica ajustada en el método y que el mejor ajuste se da en la mediana edad (40 – 50 años) mientras que en las edades extremas consideradas es donde hay mayores apartamientos.

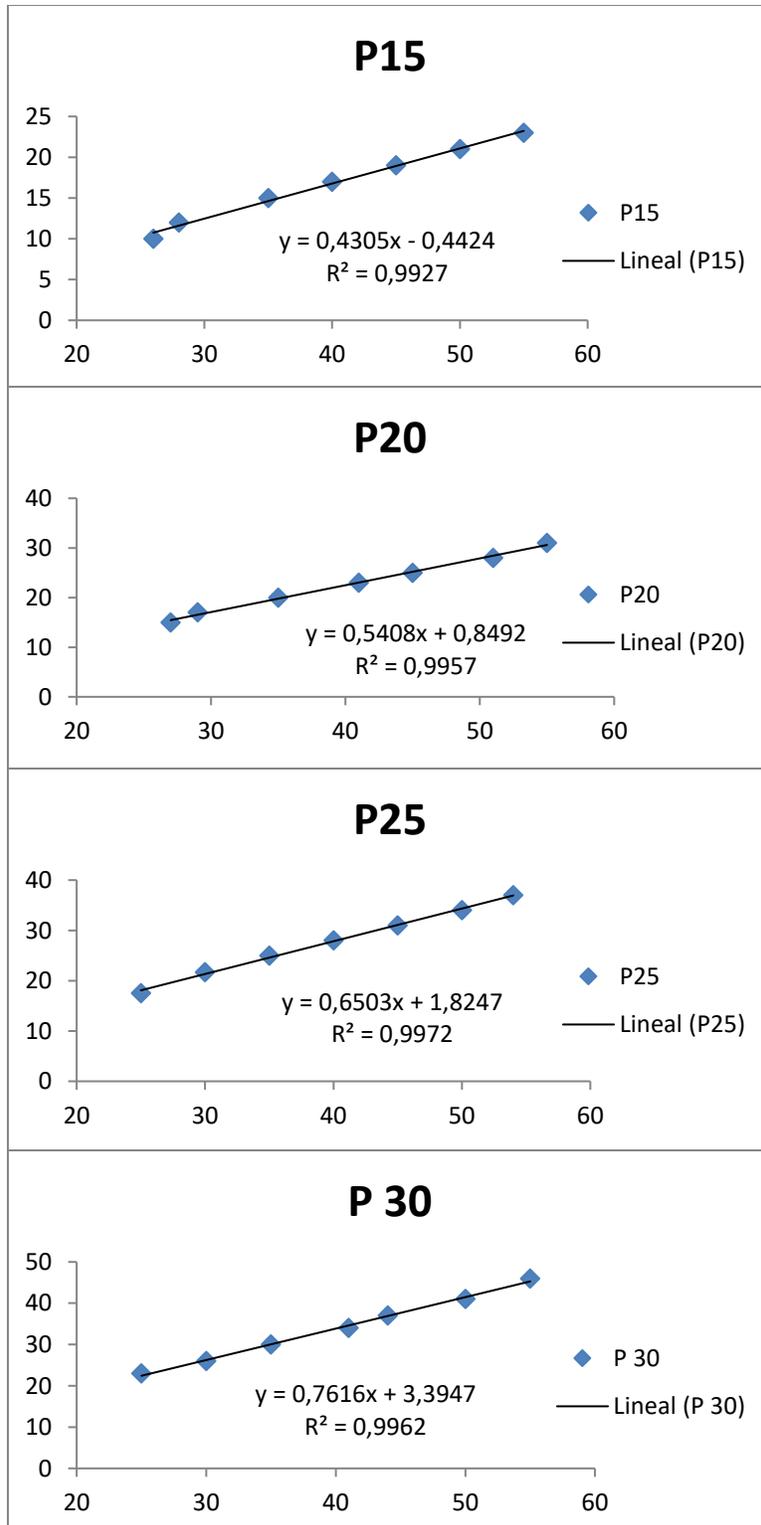
### 9.2.4 Caso 4.- (2000 + 4000)/2

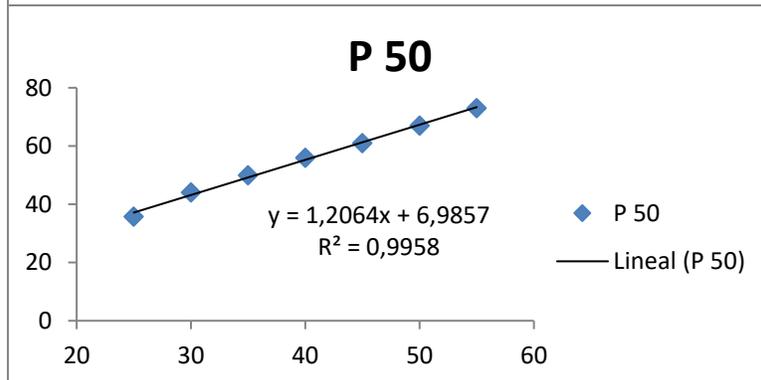
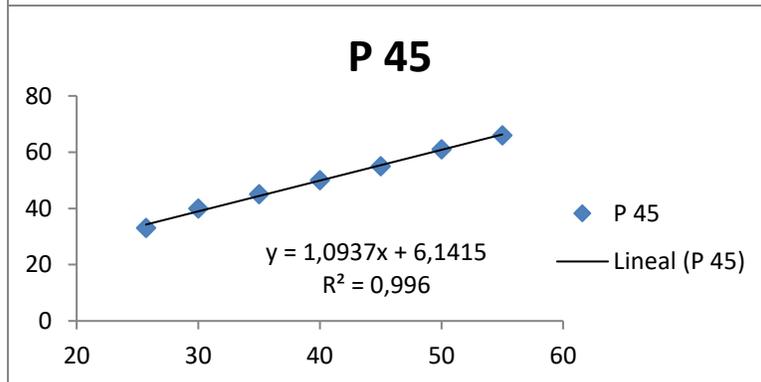
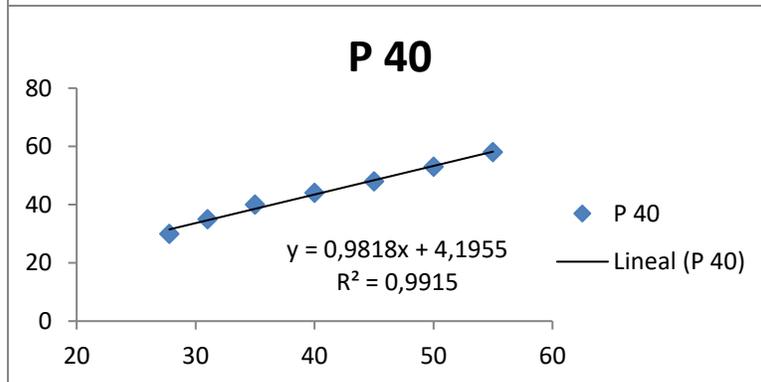
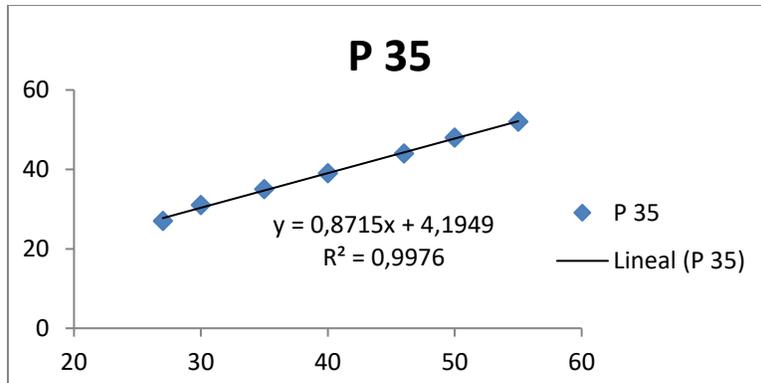
En este caso se compara el grupo de datos contra una pérdida teórica a 35 años de edad, para la construcción de la nueva tabla a esa edad equivalente, considerando el ábaco de Lafon y Duclos, se construyen las curvas de ajuste de pérdida en dB para 35 años de edad para con las pérdidas a distintas edades poder determinar la pérdida a 35 años.

En una primera instancia se determinan las ecuaciones de interpolación para determinar en función de la pérdida en dichas frecuencias y la edad, la pérdida a 35 años.

Cada recta indica la pérdida en dB a 35 años de edad (por ejemplo P5, tiene una pérdida de 5 dB a 35 años de edad en las frecuencias de (2000 + 4000)/2).







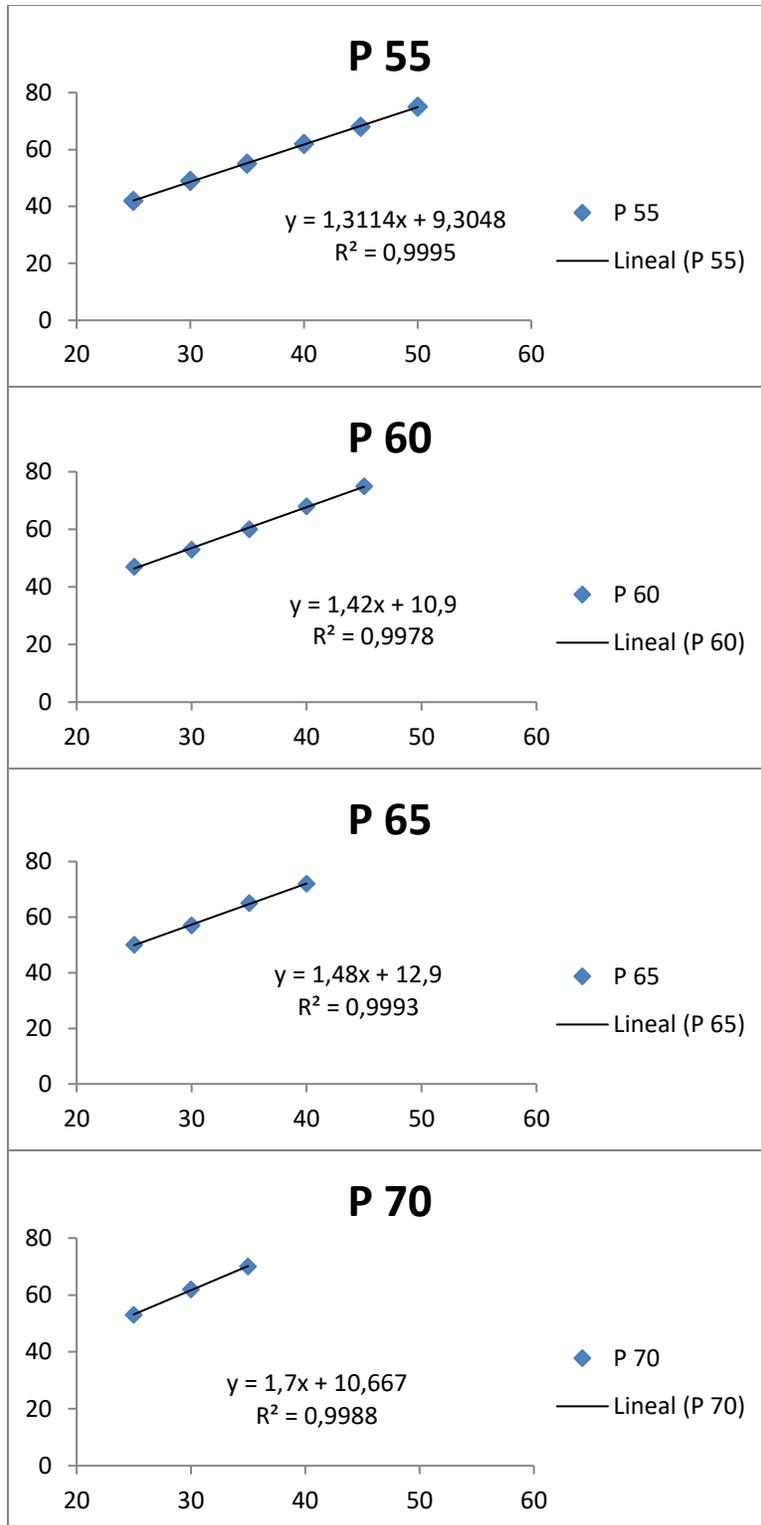


Figura 9.37. Rectas de ajuste de pérdida auditiva media (PAM) según edades

Luego a esa población equivalente de 35 años y luego de determinar la pérdida auditiva se obtiene el siguiente gráfico:

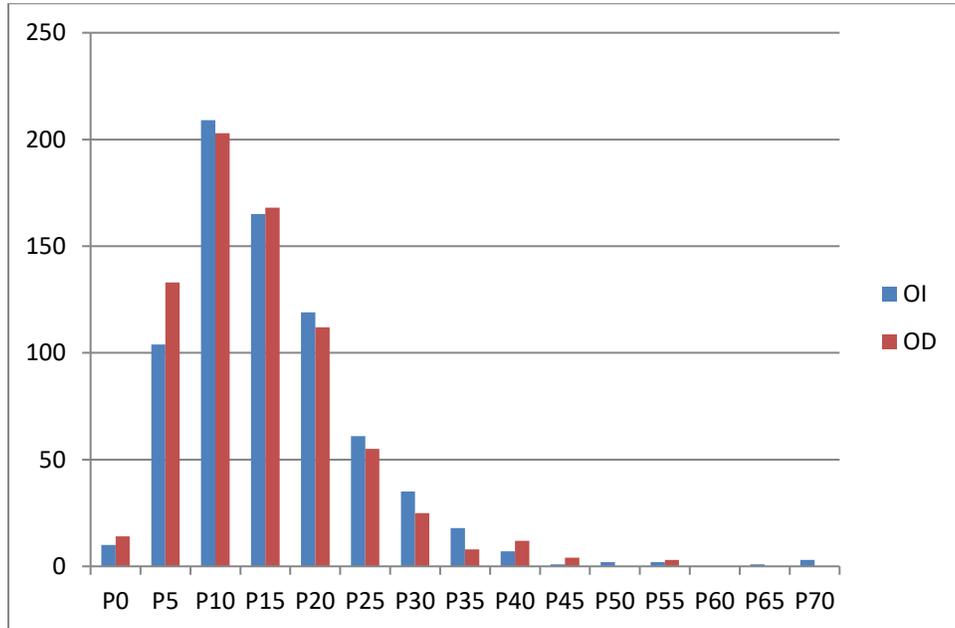


Figura 9.38. Pérdida auditiva media (PAM) según oído, por edades

Con los criterios establecidos por Lafón y Duclos se clasifican según los grupos propuestos por los autores.

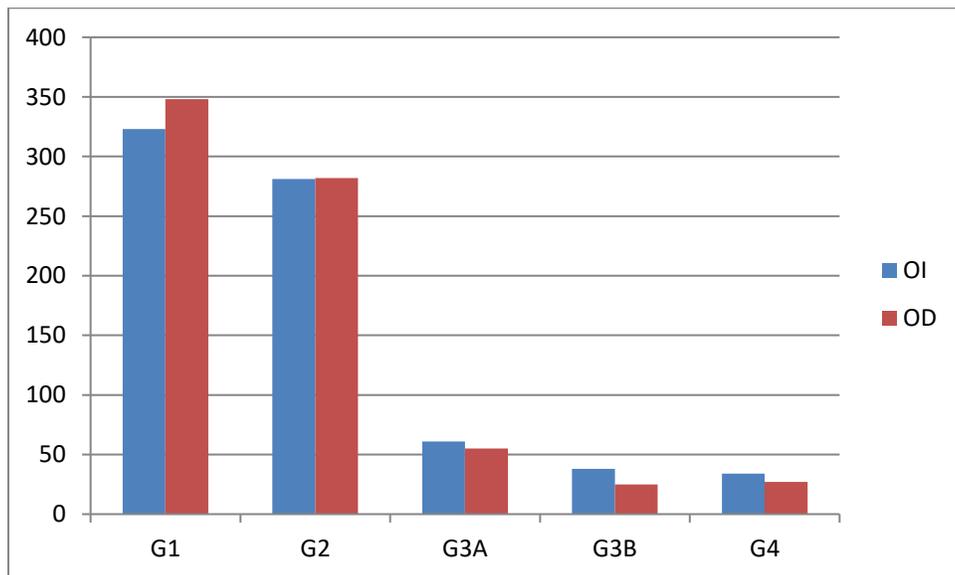


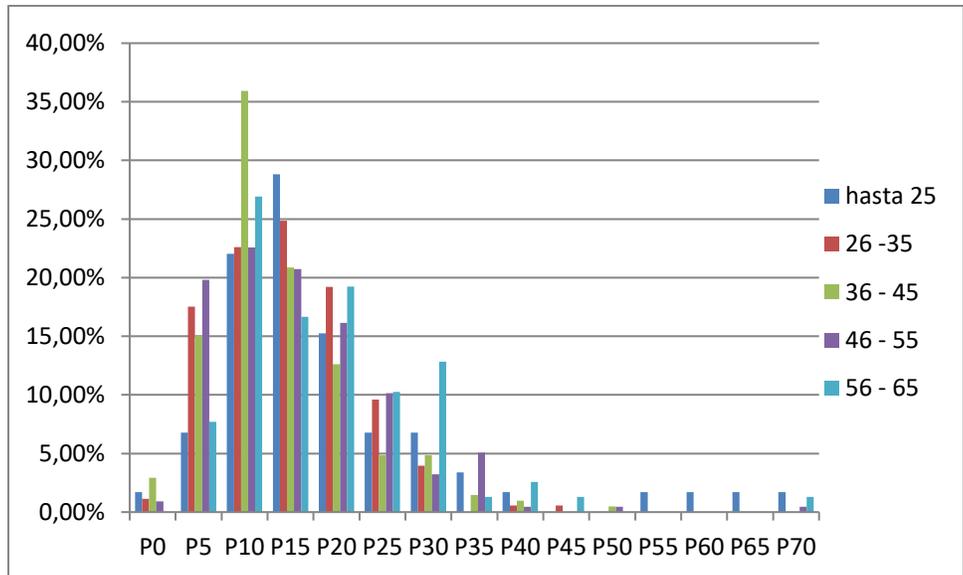
Figura 9.39. Estado auditivo de la población, según criterio PAM por oído

Clase	G1	G2	G3A	G3B	G4	G3B+4
OI	323	281	61	38	34	72
OD	348	282	55	25	27	52

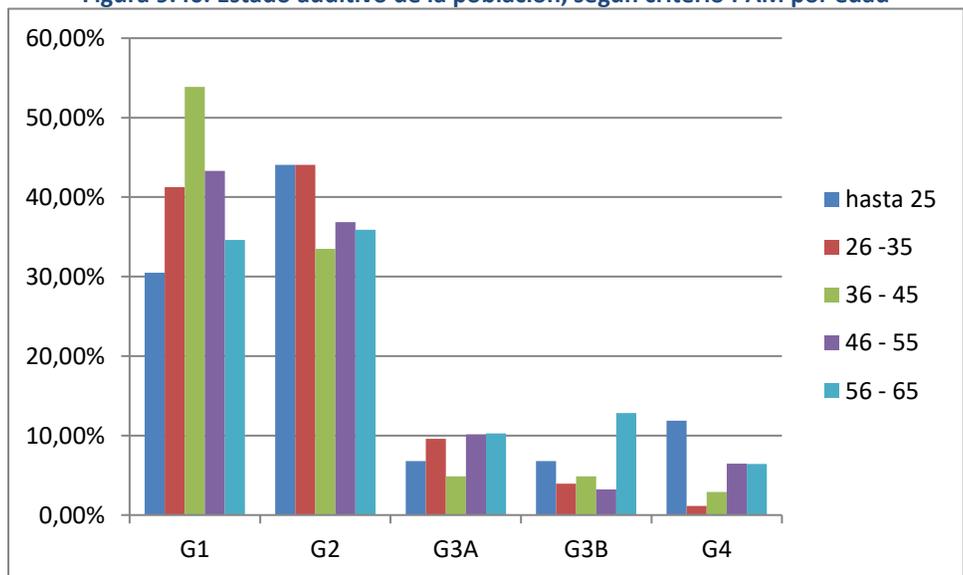
**Tabla 9.24 Número de casos por categoría, ambos oídos**

El valor G3B+4 es significativo dado que según los autores debería ser reparativo según la legislación francesa vigente al momento de la publicación de dicho artículo

De forma análoga a los casos anteriores se realiza el procesamiento por edad y por planta.



**Figura 9.40. Estado auditivo de la población, según criterio PAM por edad**



**Figura 9.41. Estado auditivo de la población, según categorías de criterio PAM por edad**

Edad	G1	G2	G3A	G3B	G4	G3B+4
hasta 25	30.51%	44.07%	6.78%	6.78%	5.08%	18.64%
26 - 35	41.24%	44.07%	9.60%	3.95%	1.13%	5.65%
36 - 45	53.88%	33.50%	4.85%	4.85%	2.43%	7.77%
46 - 55	43.32%	36.87%	10.14%	3.23%	5.53%	9.68%
56 - 65	34.62%	35.90%	10.26%	12.82%	5.13%	20.51%

Tabla 9.25 Porcentaje de casos según categoría y edades, criterio PAM

TEST ESTADÍSTICO DE FRIEDMAN POR EDADES - L-D PÉRDIDAS EN dB												
Edad	P0		P5		P10		P15		P20		P25	
hasta 25	1.69%	5.5	6.78%	11	22.03%	14	28.81%	15	15.25%	13	6.78%	11
26 - 35	1.13%	9	17.51%	12	22.60%	14	24.86%	15	19.21%	13	9.60%	11
36 - 45	2.91%	9	15.05%	13	35.92%	15	20.87%	14	12.62%	12	4.85%	10.5
46 - 55	0.92%	8	19.82%	13	22.58%	15	20.74%	14	16.13%	12	10.14%	11
56 - 65	0.00%	3	7.69%	10	26.92%	15	16.67%	13	19.23%	14	10.26%	11
Ri		34.5		59		73		71		64		54.5
Ri <sup>2</sup>		1190.25		3481		5329		5041		4096		2970.25

TEST ESTADÍSTICO DE FRIEDMAN POR EDADES - L-D PÉRDIDAS EN dB												
Edad	P30		P35		P40		P45		P50		P55	
hasta 25	6.78%	11	3.39%	9	1.69%	5.5	0.00%	1.5	0.00%	1.5	1.69%	5.5
26 - 35	3.95%	10	0.00%	3.5	0.56%	7.5	0.56%	7.5	0.00%	3.5	0.00%	3.5
36 - 45	4.85%	10.5	1.46%	8	0.97%	7	0.00%	3	0.49%	6	0.00%	3
46 - 55	3.23%	9	5.07%	10	0.46%	6	0.00%	2.5	0.46%	6	0.00%	2.5
56 - 65	12.82%	12	1.28%	7	2.56%	9	1.28%	7	0.00%	3	0.00%	3
Ri		52.5		37.5		35		21.5		20		17.5
Ri <sup>2</sup>		2756.25		1406.25		1225		462.25		400		306.25

TEST ESTADÍSTICO DE FRIEDMAN POR EDADES - L-D PÉRDIDAS EN dB						
Edad	P60		P65		P70	
hasta 25	1.69%	5.5	1.69%	5.5	1.69%	5.5
26 - 35	0.00%	3.5	0.00%	3.5	0.00%	3.5
36 - 45	0.00%	3	0.00%	3	0.00%	3
46 - 55	0.00%	2.5	0.00%	2.5	0.46%	6
56 - 65	0.00%	3	0.00%	3	1.28%	7
Ri		17.5		17.5		25
Ri <sup>2</sup>		306.25		306.25		625
EST	59.01					
Tabla 0.95	22.4					

Rechazo H0: Las muestras no son equivalentes

Tabla 9.26 Prueba de Friedman por edades y pérdida, criterio PAM

Considerando la distribución poblacional por plantas, aplicando pérdida porcentual para cada subgrupo:

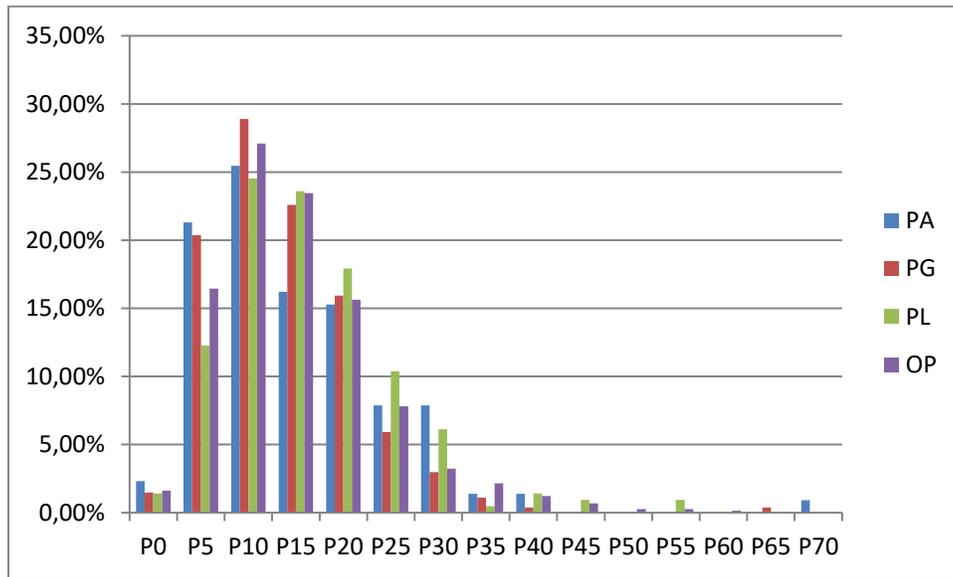


Figura 9.42. Estado auditivo de la población, según criterio PAM por edad y por planta

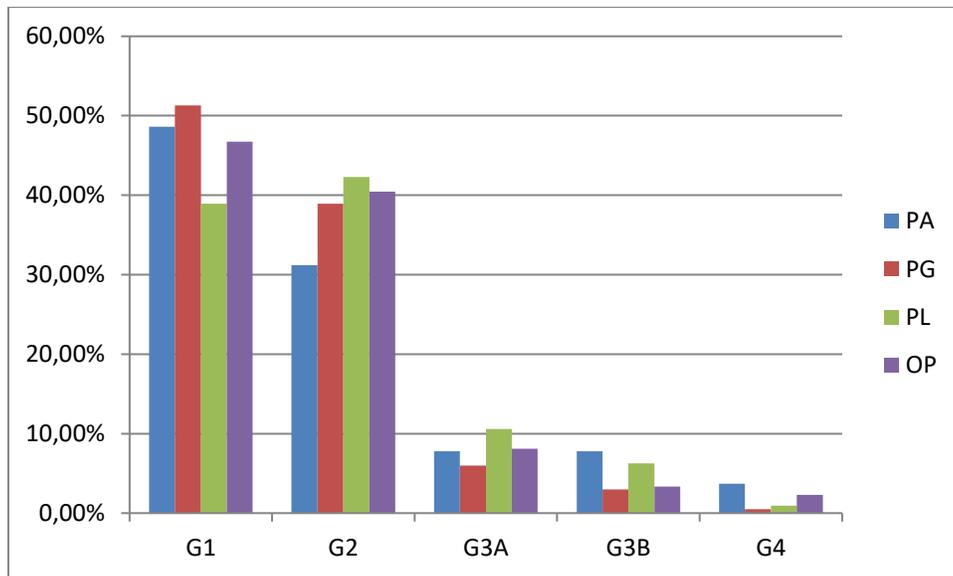


Figura 9.43. Estado auditivo de la población, según categorías de criterio PAM por planta

Clase	G1	G2	G3A	G3B	G4	3B+4
PA	48.62%	31.19%	7.80%	7.80%	3.70%	11.50%
PG	51.30%	38.94%	5.99%	3.00%	0.49%	3.48%
PL	38.94%	42.31%	10.58%	6.25%	0.93%	7.18%
OP	46.72%	40.45%	8.09%	3.35%	2.31%	5.66%

Tabla 9.27 Porcentaje de casos según categoría y plantas, criterio PAM

TEST ESTADÍSTICO DE FRIEDMAN POR PLANTAS – L-D PÉRDIDA en dB, equivalente a 35 años												
L-D	P0		P5		P10		P15		P20		P25	
PA	2.31%	9	21.30%	14	25.46%	15	16.20%	13	15.28%	12	7.87%	10.5
PG	1.48%	9	20.37%	13	28.89%	15	22.59%	14	15.93%	12	5.93%	11
PL	1.42%	8.5	12.26%	12	24.53%	15	23.58%	14	17.92%	13	10.38%	11
OP	1.62%	8	16.44%	13	27.09%	15	23.45%	14	15.63%	12	7.82%	11
Ri		34.5		52		60		55		49		43.5
Ri <sup>2</sup>		1190.25		2704		3600		3025		2401		1892.25

TEST ESTADÍSTICO DE FRIEDMAN POR PLANTAS – L-D PÉRDIDA en dB, equivalente a 35 años														
L-D	P30		P35		P40		P45		P50		P55		P60	
PA	7.87%	10.5	1.39%	7	1.39%	8	0.00%	3	0.00%	3	0.00%	3	0.00%	3
PG	2.96%	10	1.11%	8	0.37%	6.5	0.00%	3	0.00%	3	0.00%	3	0.00%	3
PL	6.13%	10	0.47%	5	1.42%	8.5	0.94%	6.5	0.00%	2.5	0.94%	6.5	0.00%	2.5
OP	3.23%	10	2.16%	9	1.21%	7	0.67%	6	0.27%	4.5	0.27%	4.5	0.13%	3
Ri		40.5		29		30		18.5		13		17		11.5
Ri <sup>2</sup>		1640.25		841		900		342.25		169		289		132.25

EST	51.47
Tabla 0.95	22.1

L-D	P65		P70	
PA	0.00%	3	0.93%	6
PG	0.37%	6.5	0.00%	3
PL	0.00%	2.5	0.00%	2.5
OP	0.00%	1.5	0.00%	1.5
Ri		13.5		13
Ri <sup>2</sup>		182.25		169

Rechazo H0: Las muestras no son equivalentes

**Tabla 9.28 Prueba de Friedman por planta y por pérdida, criterio PAM**

Si bien el máximo porcentual para todos los grupos es P10, en el caso del grupo PL los valores menores a P10 son menores que el resto, mientras que los mayores, particularmente en P20 y P25 son porcentualmente mayores que las otras poblaciones por lo que su pérdida media desde esta perspectiva es la mayor.

Como forma de evaluar este método se determinan las pérdidas esperables para hombres de 35 años según bases de datos B2 y B4, dado que los datos de dichas bases son para 30 y 40 años se interpolan los valores para dichas edades, para toda la población en edad equivalente a 35 años se determina el siguiente gráfico:

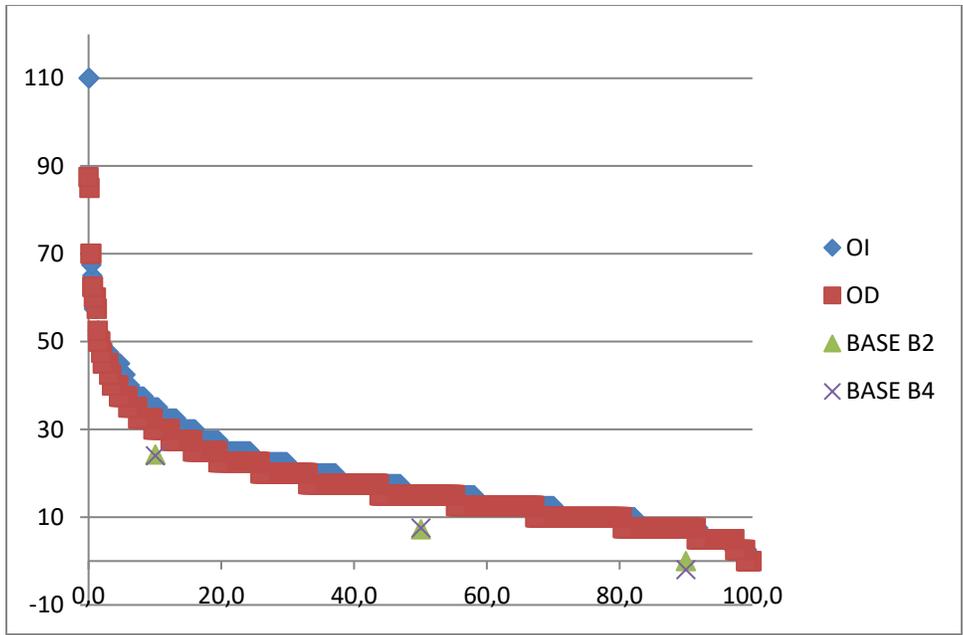


Figura 9.44. Comparación entre PAM y Bases B2 y B4, ambos oídos

Pérdida (dB) (2000+4000)/2 Base B2		
P10	P50	P90
8	8	11

Tabla 9.29 Exceso de pérdida en relación a la Base B2, por percentil

Pérdida (2000+4000)/2 Base B4		
P10	P50	P90
10	8	11

Tabla 9.30 Exceso de pérdida en relación a la Base B4, por percentil

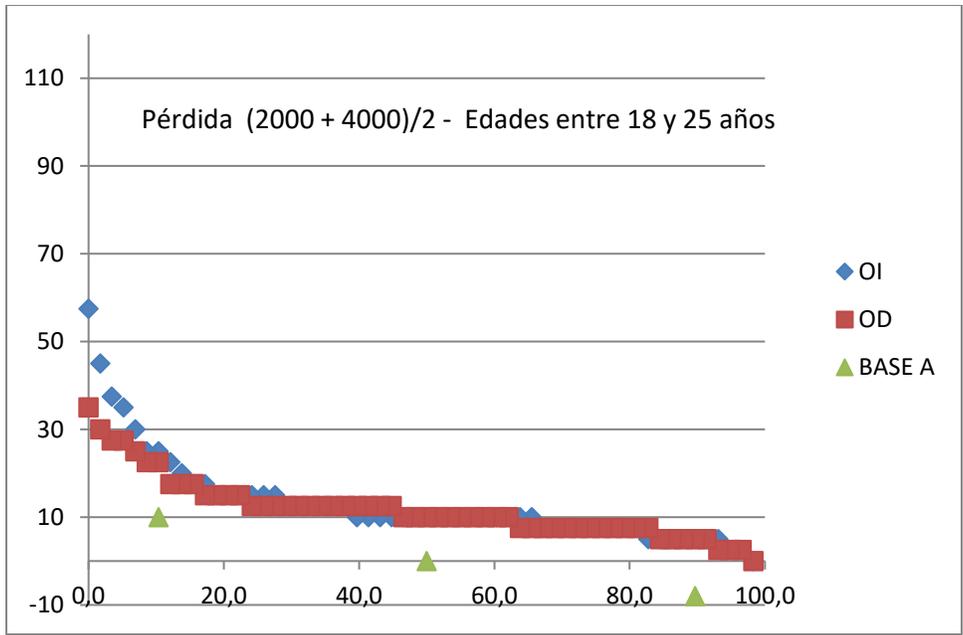


Figura 9.45. Comparación entre criterio  $(2000+4000)/2$  y Base A, población entre 18 y 25 años, ambos oídos

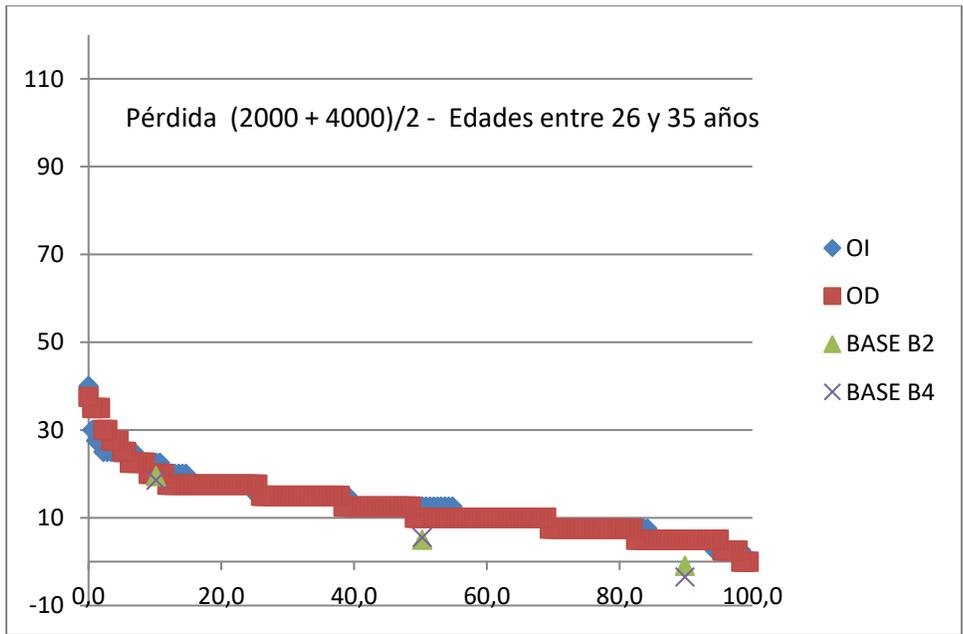


Figura 9.46. Comparación entre criterio  $(2000+4000)/2$  y Bases B2 y B4, población entre 26 y 35 años, ambos oídos

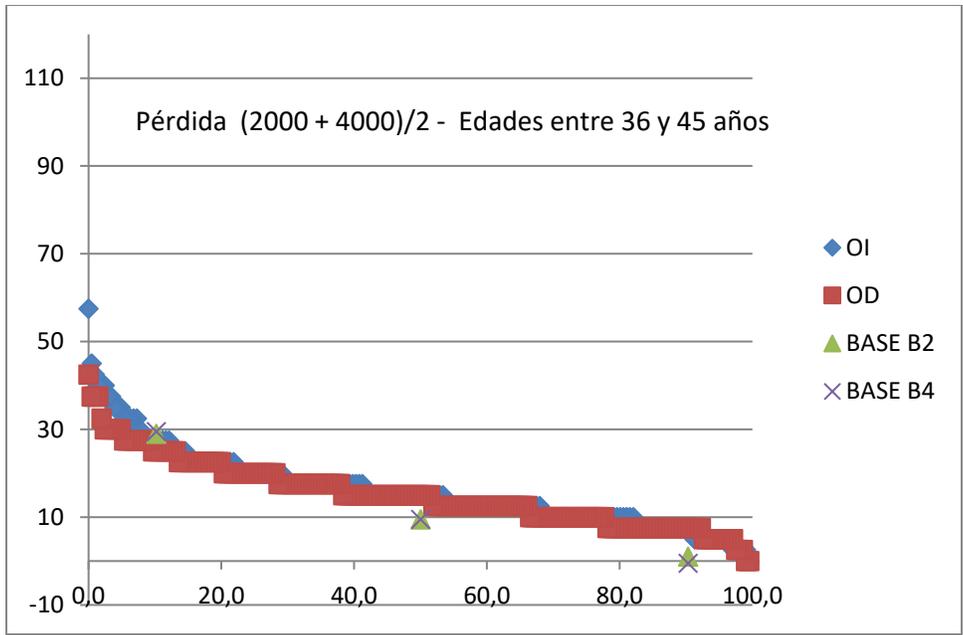


Figura 9.47. Comparación entre criterio  $(2000+4000)/2$  y Bases B2 y B4, población entre 36 y 45 años, ambos oídos

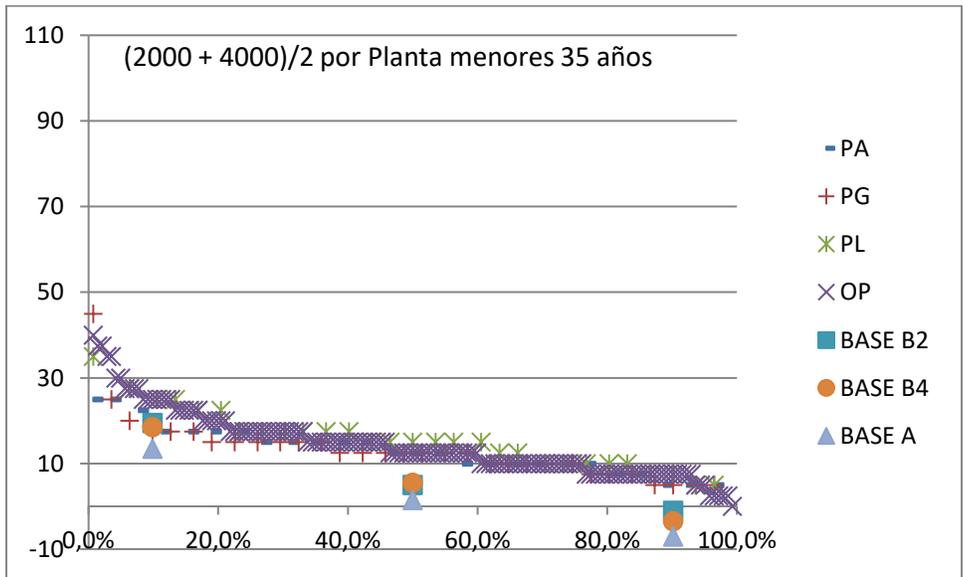


Figura 9.48. Comparación entre criterio  $(2000+4000)/2$  y Bases A, B2 y B4, población menor que 35 años, por planta

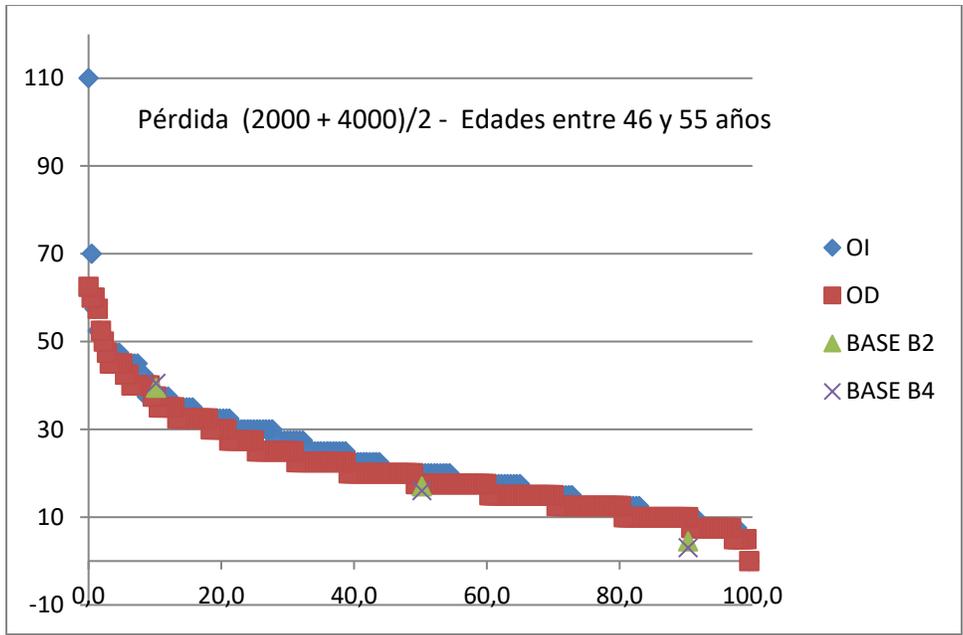


Figura 9.49. Comparación entre criterio  $(2000+4000)/2$  y Bases B2 y B4, población entre 46 y 55 años, ambos oídos

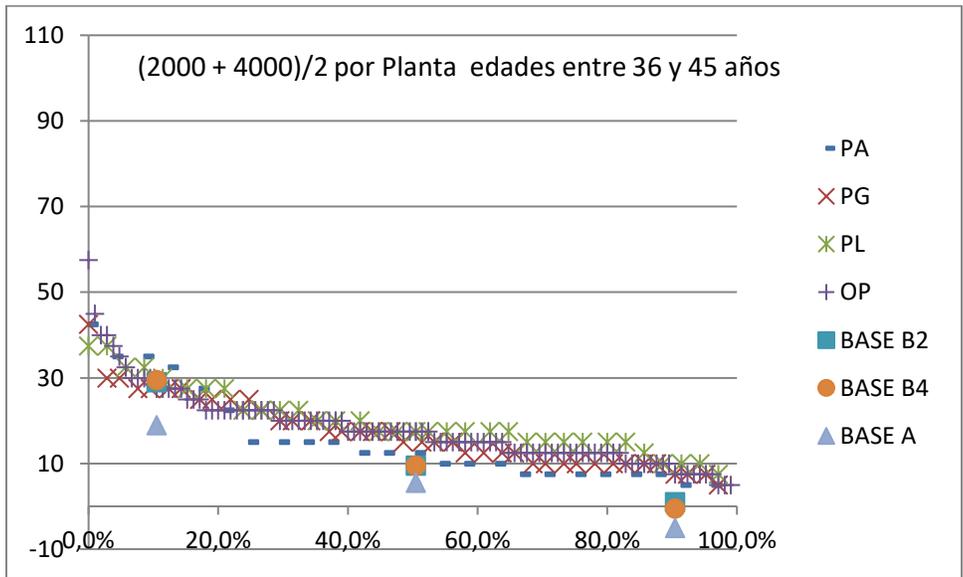


Figura 9.50. Comparación entre criterio  $(2000+4000)/2$  y Bases A, B2 y B4, población entre 36 y 45 años, por planta

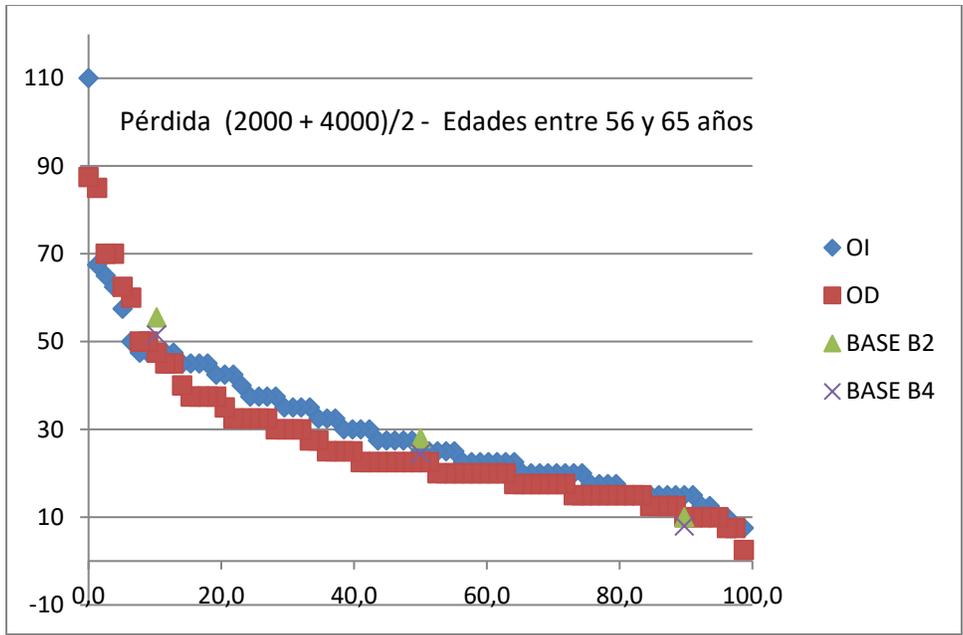


Figura 9.51. Comparación entre criterio  $(2000+4000)/2$  y Bases B2 y B4, población entre 56 y 65 años, ambos oídos

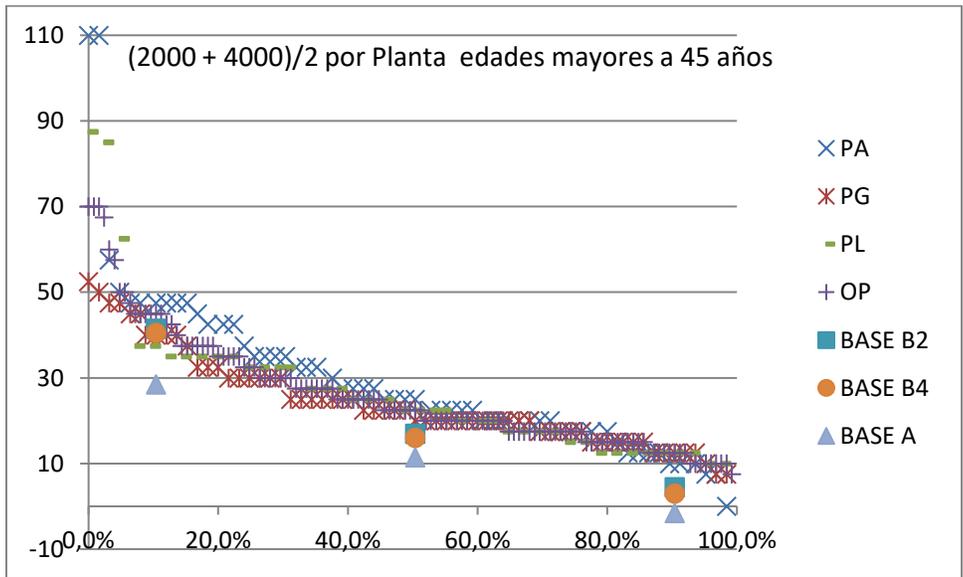


Figura 9.52. Comparación entre criterio  $(2000+4000)/2$  y Bases A, B2 y B4, población mayor a 45 años, por planta

En los casos de las poblaciones por planta, al aumentar la edad los perfiles tienden a diferenciarse principalmente en los percentiles menores.

En el caso de las pérdidas por edad de la población total y en su comparación con la pérdida en  $(2000 + 4000)/2$  con las bases de datos, los resultados difieren significativamente del tratamiento de datos con el ábaco y esto se puede verificar con la evolución de la pérdida promedio en las bases de datos en esas 2 frecuencias

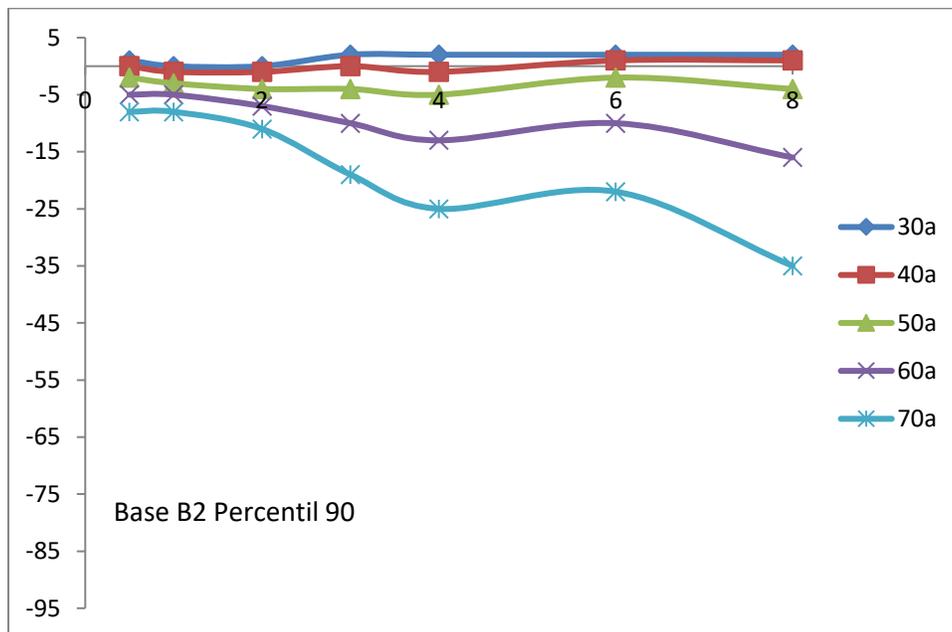


Figura 9.53. Criterio  $(2000+4000)/2$  aplicado a Base B2 percentil 90, según edades

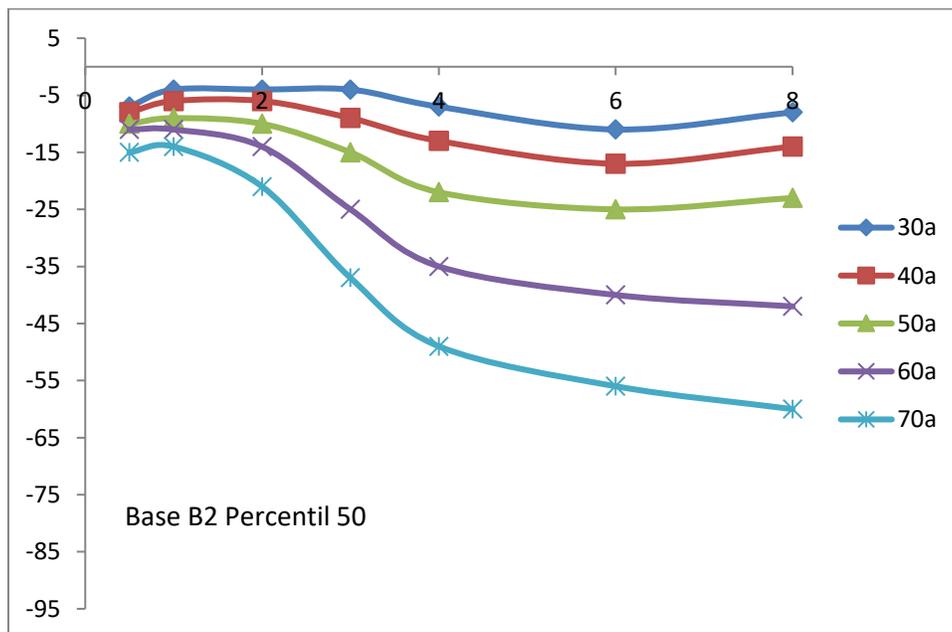


Figura 9.54. Criterio  $(2000+4000)/2$  aplicado a Base B2 percentil 50, según edades

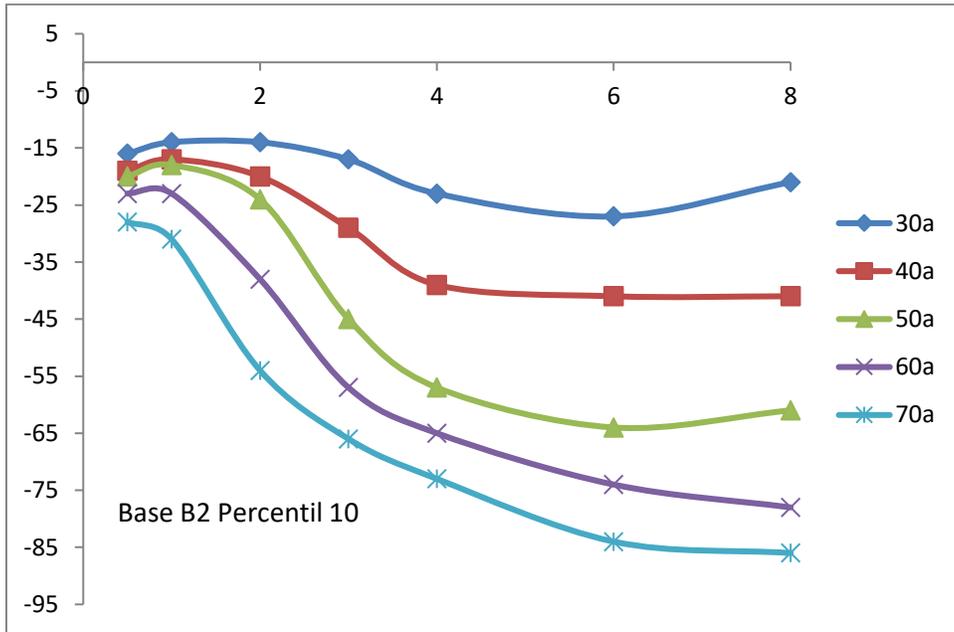


Figura 9.55. Criterio  $(2000+4000)/2$  aplicado a Base B2 percentil 10, según edades

La relevancia de la socioacusia en las bases de datos según la edad genera esas diferencias contra la pérdida teórica a la edad de 35 años.

En la descripción del método de Lafon y Duclos ya se describieron las 3 zonas identificadas por los autores, en particular la aproximación a una recta de pendiente 7.5dB/10 años, para el rango de edades entre 25 y 55 años, como se muestra en la figura. A efectos de comparación se determina el promedio de la población para dicho rango de edades. En una aproximación lineal de dicho rango, se verifica que la pérdida esperable es de 5.2dB/10 años.

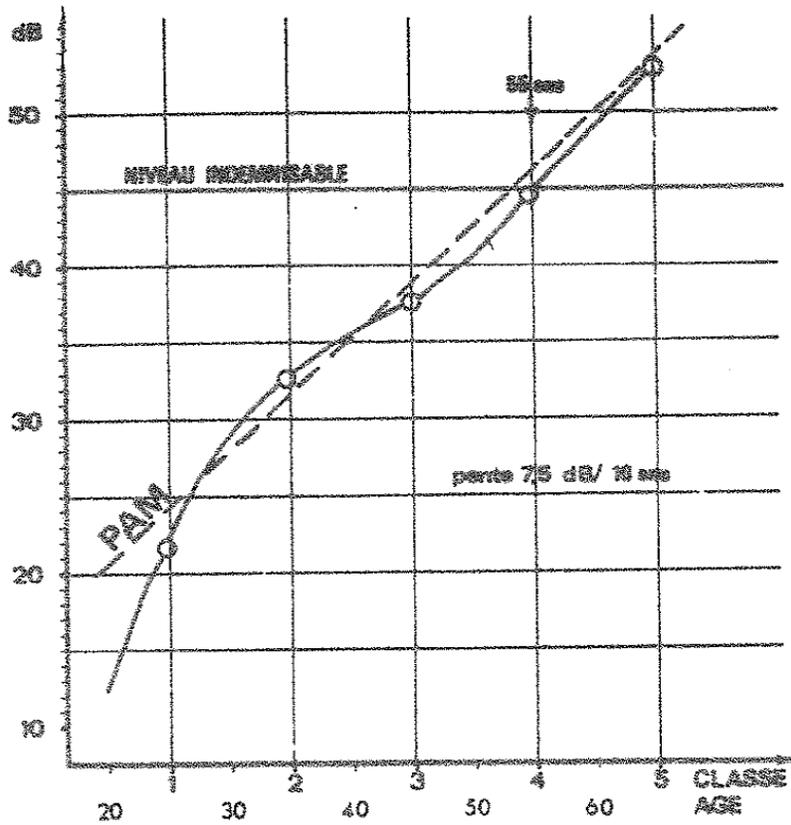


Figura 9.56. Evolución de la PAM, según edades y clase

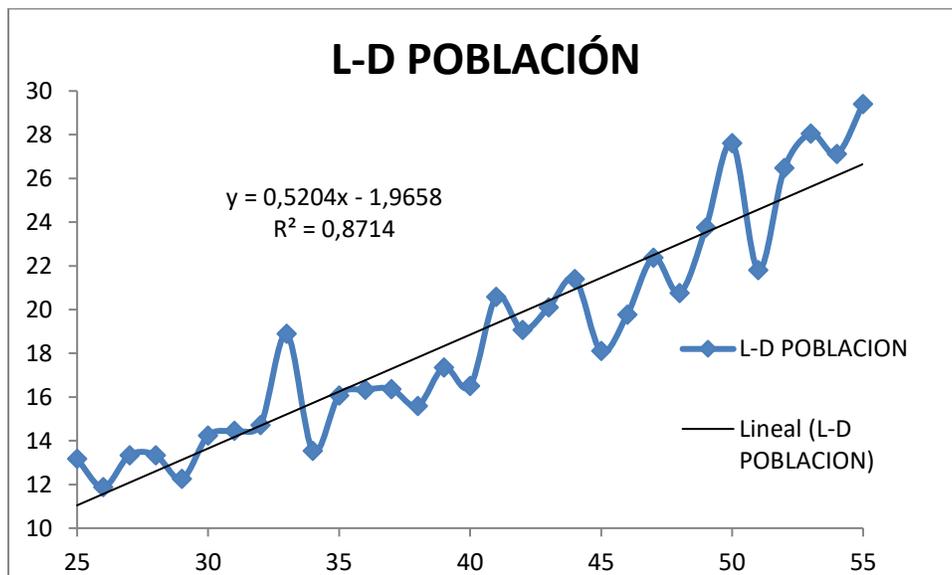
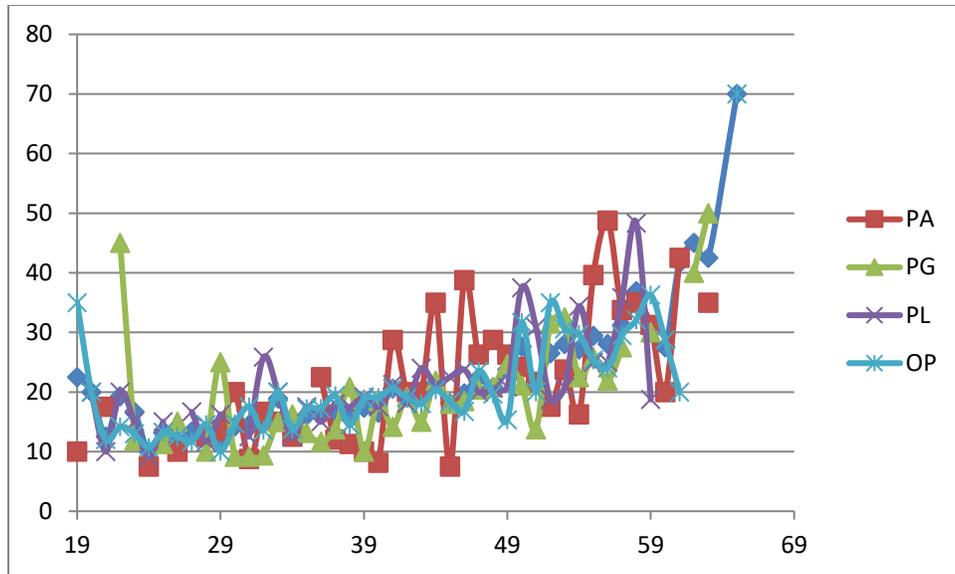


Figura 9.57. Evolución de la PAM en la población bajo estudio, según edades



**Figura 9.58. Evolución de la PAM en la población bajo estudio, según edades y por planta**

Si bien los datos son más dispersos por ser un número menor por cada planta los perfiles se mantienen para cada planta.

### 9.2.5 Caso 5 – DPU

Este parámetro es de vital importancia analizarlo dado que es en el cual se basa el Banco de Seguros del Estado (BSE) para determinar la enfermedad profesional y el eventual resarcimiento económico por la pérdida auditiva.

Como ya se expuso se calcula:

$$DPU = \frac{(2 * 500Hz + 4 * 1000Hz + 3 * 2000Hz + 1 * 4000Hz)}{10}$$

Y la tabla de comparación a efectos de valorar la pérdida auditiva, considerando que la corrección por presbiacusia es de 0.5 dB/año a partir de los 40 años:

	00-25	25-35	35-45	45-55	55-65	65-80	80-90
00-25	0	3	5	8	12	15	20
25-35	3	8	12	15	20	25	30
35-45	5	12	18	24	30	32	40
45-55	8	15	24	35	40	45	50
55-65	12	20	30	40	50	60	60
65-80	15	25	35	45	60	70	70
80-90	20	30	40	50	60	70	70

**Tabla 9.31 Pérdida auditiva a computar según pérdidas en cada oído, según DPU**

Con esos criterios se determina la situación para cada planta considerando la condición “NORMAL” a una pérdida menor a la presbiacusia y dividiendo a una pérdida superior al valor de presbiacusia de a 10 dB.

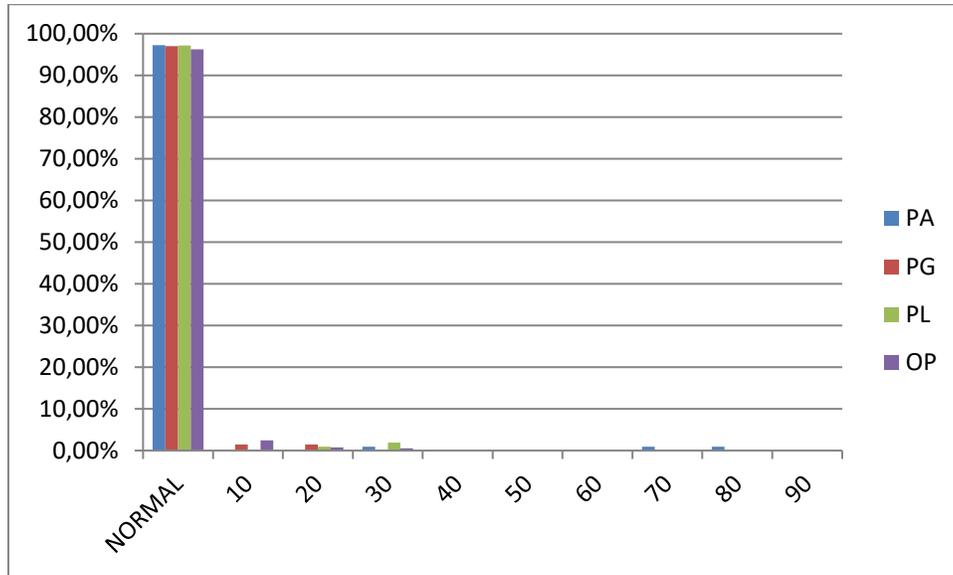


Figura 9.59. Estado auditivo de la población, según criterio DPU, por planta

TEST ESTADÍSTICO DE FRIEDMAN POR PLANTAS – DPU										
	NORMAL		10		20		30		40	
PA	97.22%	10	0.00%	3.5	0.00%	3.5	0.93%	8	0.00%	3.5
PG	97.04%	10	1.48%	8.5	1.48%	8.5	0.00%	4	0.00%	4
PL	97.17%	10	0.00%	4	0.94%	8	1.89%	9	0.00%	4
OP	96.23%	10	2.43%	9	0.81%	8	0.54%	7	0.00%	3.5
Ri		40		25		28		28		15
Ri <sup>2</sup>		1600		625		784		784		225

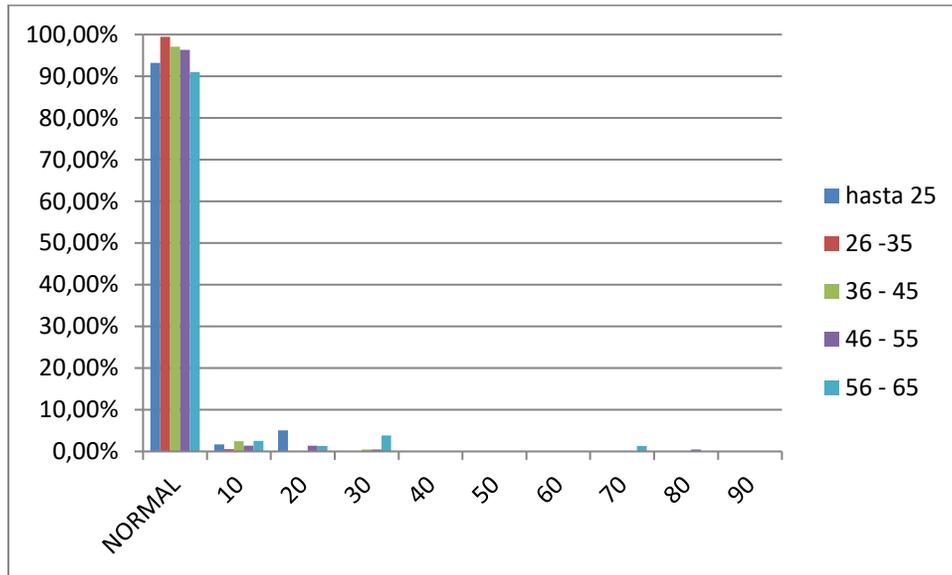
TEST ESTADÍSTICO DE FRIEDMAN POR PLANTAS – DPU										
	50		60		70		80		90	
PA	0.00%	3.5	0.00%	3.5	0.93%	8	0.93%	8	0.00%	3.5
PG	0.00%	4	0.00%	4	0.00%	4	0.00%	4	0.00%	4
PL	0.00%	4	0.00%	4	0.00%	4	0.00%	4	0.00%	4
OP	0.00%	3.5	0.00%	3.5	0.00%	3.5	0.00%	3.5	0.00%	3.5
Ri		15		15		19.5		19.5		15
Ri <sup>2</sup>		225		225		380.25		380.25		225

EST	16.73
-----	-------

Rechazo H0: Las muestras no son equivalentes

**Tabla 9.32 Prueba de Friedman por plantas y por percentil**

Del mismo modo, se analiza la distribución por edades



**Figura 9.60. Estado auditivo de la población, según criterio DPU, por edad**

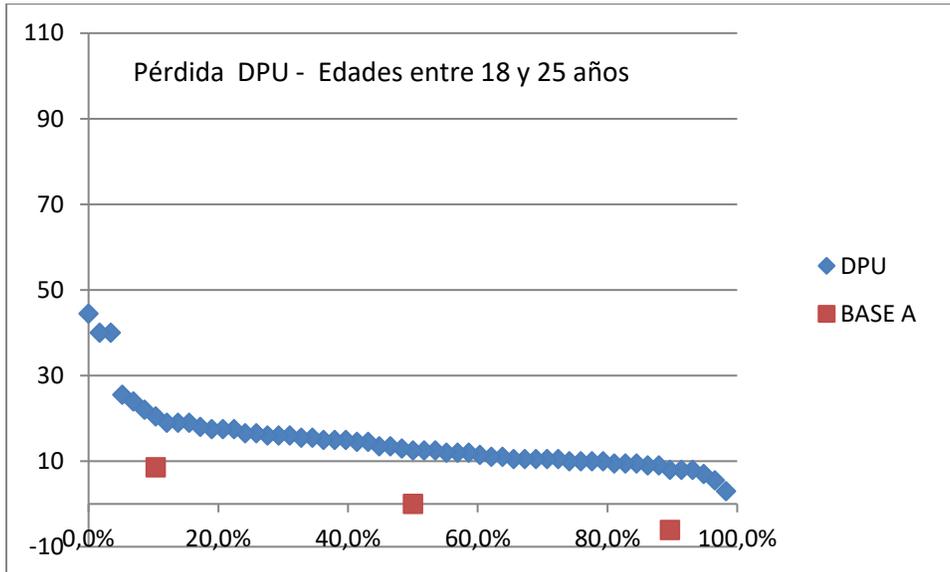
TEST ESTADÍSTICO DE FRIEDMAN POR EDADES – DPU										
Edad	NORMAL	10	20	30	40	50	60	70	80	90
hasta 25	93.22%	10	1.69%	8	5.08%	9	0.00%	4	0.00%	4
26 - 35	99.44%	10	0.56%	9	0.00%	4.5	0.00%	4.5	0.00%	4.5
36 - 45	97.09%	10	2.43%	9	0.00%	4	0.49%	8	0.00%	4
46 - 55	96.31%	10	1.38%	8.5	1.38%	8.5	0.46%	6.5	0.00%	3
56 - 65	91.03%	10	2.56%	8	1.28%	6.5	3.85%	9	0.00%	3
Ri		50		42.5		32.5		32		18.5
Ri <sup>2</sup>		2500		1806.25		1056.25		1024		342.25

TEST ESTADÍSTICO DE FRIEDMAN POR EDADES – DPU										
Edad	50	60	70	80	90	50	60	70	80	90
hasta 25	0.00%	4	0.00%	4	0.00%	4	0.00%	4	0.00%	4
26 - 35	0.00%	4.5	0.00%	4.5	0.00%	4.5	0.00%	4.5	0.00%	4.5
36 - 45	0.00%	4	0.00%	4	0.00%	4	0.00%	4	0.00%	4
46 - 55	0.00%	3	0.00%	3	0.00%	3	0.46%	6.5	0.00%	3
56 - 65	0.00%	3	0.00%	3	1.28%	6.5	0.00%	3	0.00%	3
Ri		18.5		18.5		22		22		18.5
Ri <sup>2</sup>		342.25		342.25		484		484		342.25

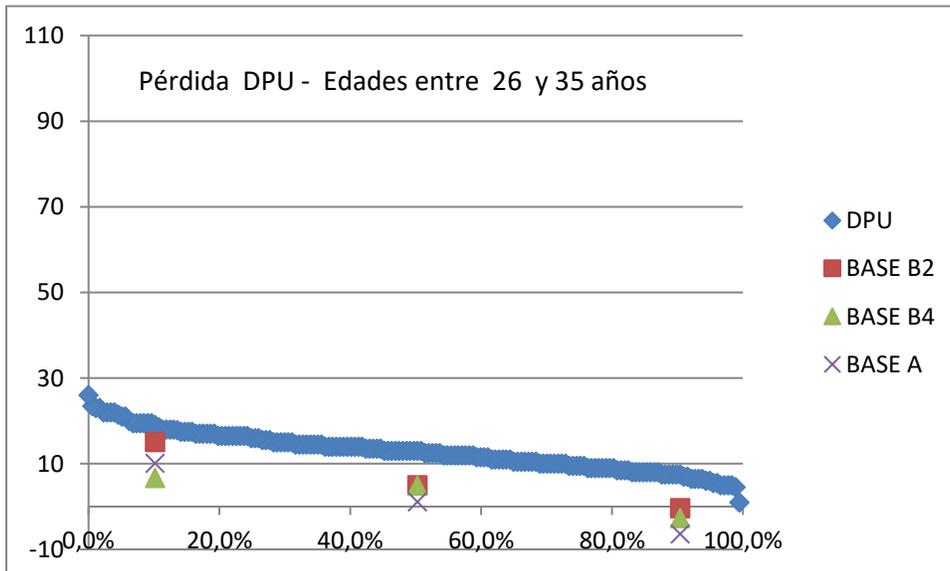
EST	25.33
Tabla 0.95	15.93

Rechazo H0: Las muestras no son equivalentes

**Tabla 9.33 Prueba de Friedman por edades y por percentil**



**Figura 9.61. Comparación entre DPU y Base A, población entre 18 y 25 años**



**Figura 9.62. Comparación entre DPU y Bases A, B2 y B4, población entre 26 y 35 años**

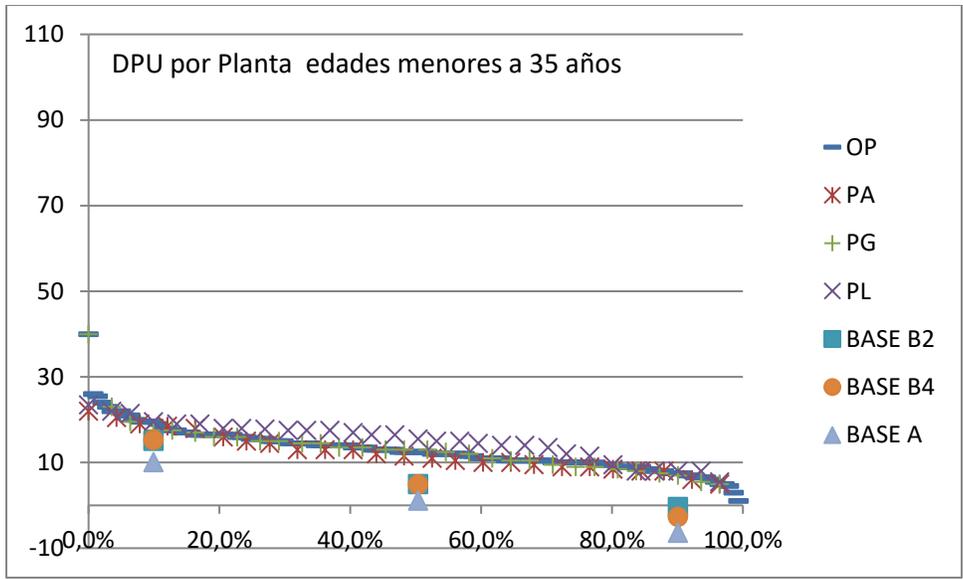


Figura 9.63. Comparación entre DPU y Bases A, B2 y B4, población menor que 35 años, por planta

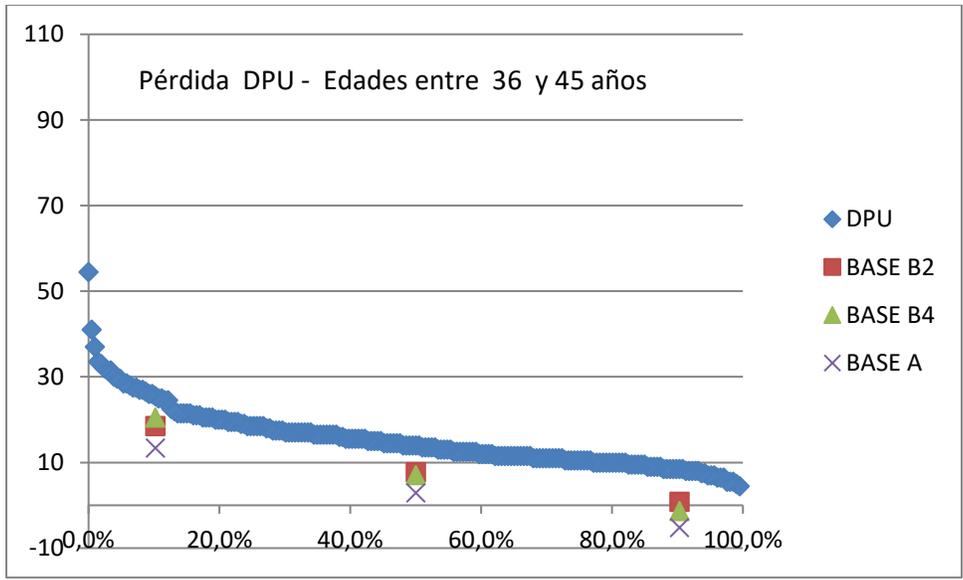


Figura 9.64. Comparación entre DPU y Bases A, B2 y B4, población entre 36 y 45 años

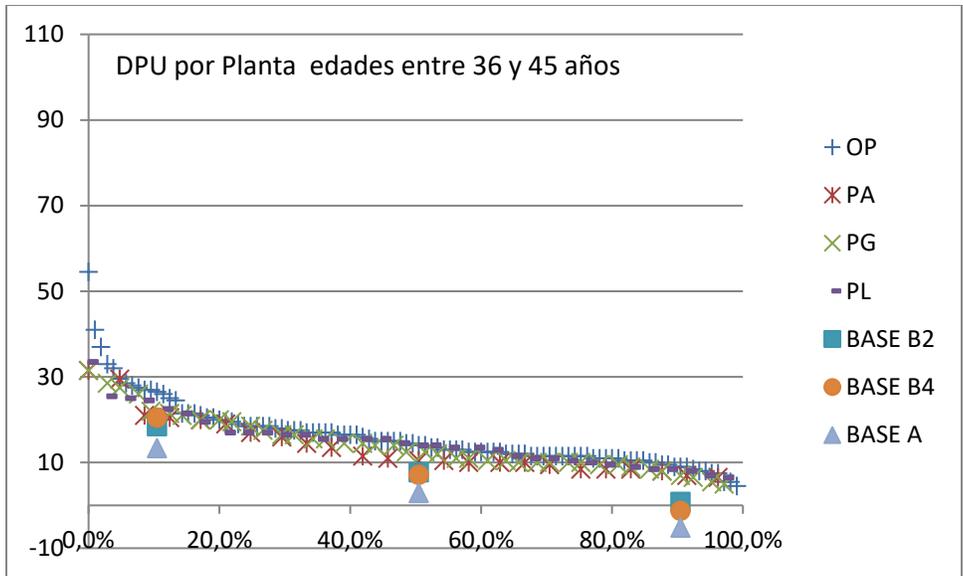


Figura 9.65. Comparación entre DPU y Bases A, B2 y B4, población entre 36 y 45 años, por planta

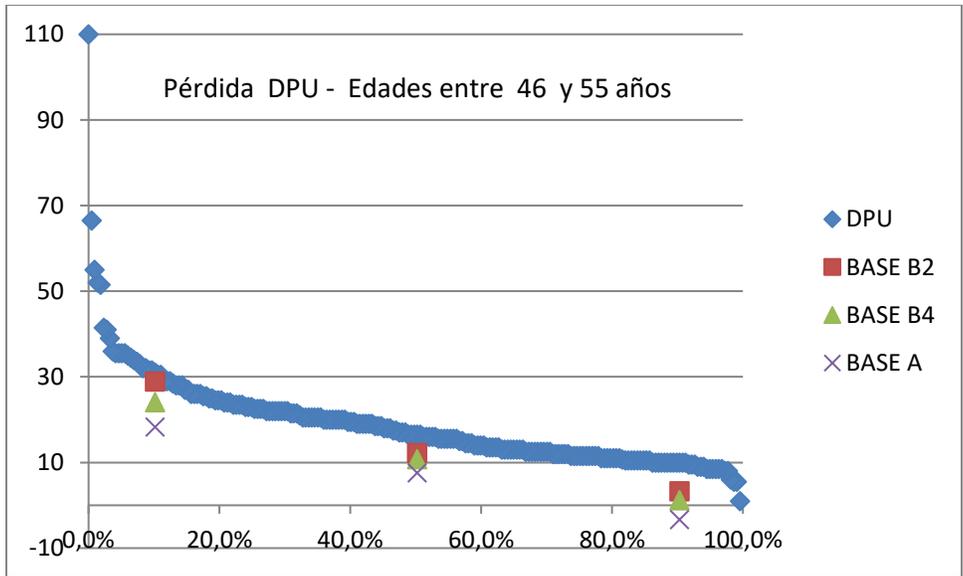


Figura 9.66. Comparación entre DPU y Bases A, B2 y B4, población entre 46 y 55 años

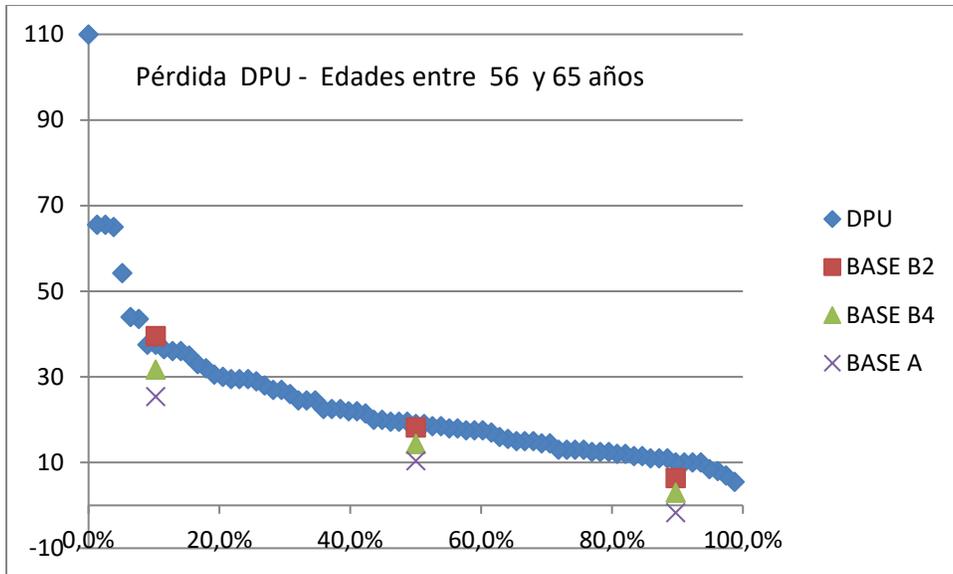


Figura 9.67. Comparación entre DPU y Bases A, B2 y B4, población entre 56 y 65 años

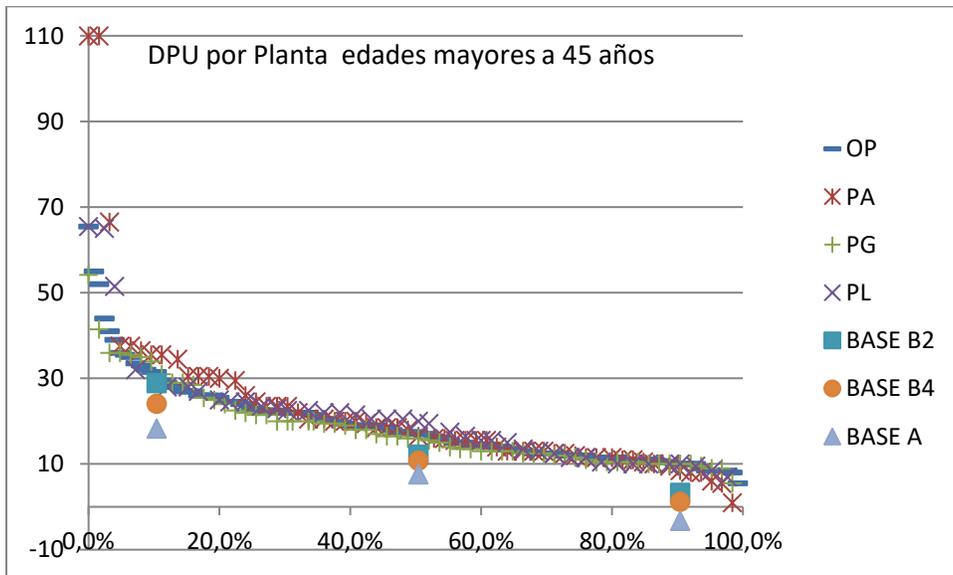


Figura 9.68. Comparación entre DPU y Bases A, B2 y B4, población entre mayor que 45 años, por planta

### 9.3 Análisis de los datos de previsión de pérdida por norma ISO 1999:2013 según las medidas de campo

Con las medidas de campo tomadas en la planta de ácido (PA) se determinan los valores de exposición equivalente diario según el siguiente cuadro:

**Jornada de 8 horas**

	<b>t (h)</b>	<b>L<sub>aeq</sub> (dB)</b>
Sala Soplador	0.25	100.6
Sala Control	6	60.7
Exterior	1.75	75.0
TOTAL	8	85.7

**Tabla 9.34 Composición de la exposición a ruido a lo largo de una jornada laboral**

Luego con el valor del equivalente diario, se determinan los valores para cada frecuencia.

f (Hz)	500	1000	2000	4000	6000
u	-0.0033	-0.02	-0.045	0.025	0.019
v	0.11	0.07	0.066	0.025	0.024
L <sub>0</sub> (dB)	93	89	80	75	77

L <sub>ex8h</sub> (dB)	85.7	85.7	85.7	85.7	85.7
------------------------	------	------	------	------	------

Xu	0.044	0.022	0.031	0.005	0.013
Yu	0.016	0.016	-0.002	0.009	0.008
Xl	0.033	0.020	0.016	0.016	0.028
Yl	0.002	0.000	0.000	-0.002	-0.007

L <sub>ex8h</sub> -L <sub>0</sub>	-7.3	-3.3	5.7	10.7	8.7
-----------------------------------	------	------	-----	------	-----

N50, 10	0.0	0.0	0.7	5.7	3.2
N50, 20	0.0	0.0	1.3	6.6	3.8
N50, 30	0.0	0.0	1.7	7.1	4.1
N50, 40	0.0	0.0	2.0	7.4	4.3

**Tabla 9.35 Coeficientes para aplicación de norma ISO 1999:2013**

En primer término se determinan los N<sub>50</sub> para cada periodo de exposición por cada frecuencia, con la consideración de que si L<sub>ex8h</sub> < L<sub>0</sub> se toma como 0 para esa frecuencia como es el caso de las frecuencias 500 y 1000Hz.

Luego para cada periodo considerado (10 a 40 años) se determinan los valores de N según los percentiles:

tiempo exposición 10 años					
f (Hz)	500	1000	2000	4000	6000
N10,10	0.0	0.0	1.9	7.8	5.3
N20,10	0.0	0.0	1.5	7.1	4.6
N30,10	0.0	0.0	1.2	6.5	4.1
N40,10	0.0	0.0	0.9	6.1	3.6
N50, 10	0.0	0.0	0.7	5.7	3.2
N60,10	0.0	0.0	0.5	5.3	2.8
N70,10	0.0	0.0	0.4	4.9	2.4
N80,10	0.0	0.0	0.2	4.4	1.9
N90,10 <sup>13</sup>	0.0	0.0	0.0	3.7	1.2

tiempo exposición 20 años					
f (Hz)	500	1000	2000	4000	6000
N10,20	0.0	0.0	2.5	9.0	6.1
N20,20	0.0	0.0	2.1	8.2	5.3
N30,20	0.0	0.0	1.8	7.6	4.7
N40,20	0.0	0.0	1.6	7.1	4.2
N50, 20	0.0	0.0	1.3	6.6	3.8
N60,20	0.0	0.0	1.2	6.2	3.4
N70,20	0.0	0.0	1.0	5.8	3.0
N80,20	0.0	0.0	0.9	5.3	2.6
N90,20	0.0	0.0	0.7	4.6	2.0

tiempo exposición 30 años					
f (Hz)	500	1000	2000	4000	6000
N10,30	0.0	0.0	2.9	9.7	6.5
N20,30	0.0	0.0	2.5	8.8	5.7
N30,30	0.0	0.0	2.2	8.2	5.1
N40,30	0.0	0.0	1.9	7.6	4.6
N50, 30	0.0	0.0	1.7	7.1	4.1
N60,30	0.0	0.0	1.6	6.7	3.8
N70,30	0.0	0.0	1.4	6.3	3.4
N80,30	0.0	0.0	1.3	5.8	3.0
N90,30	0.0	0.0	1.0	5.2	2.4

<sup>13</sup> La nomenclatura para los valores de N<sub>xx,yy</sub> XX es referida al percentil e YY referida a los años de exposición

f (Hz)	tiempo exposición 40 años				
	500	1000	2000	4000	6000
N10,40	0.0	0.0	3.1	10.3	6.8
N20,40	0.0	0.0	2.7	9.3	6.0
N30,40	0.0	0.0	2.4	8.6	5.4
N40,40	0.0	0.0	2.2	8.0	4.8
N50, 40	0.0	0.0	2.0	7.4	4.3
N60,40	0.0	0.0	1.8	7.1	4.0
N70,40	0.0	0.0	1.7	6.7	3.7
N80,40	0.0	0.0	1.5	6.2	3.3
N90,40	0.0	0.0	1.3	5.6	2.7

**Tabla 9.36 Valores de N en función de los años de exposición y el percentil de la población**

Con dichos datos se construyen los valores de N según los métodos analizados con los valores de N por cada frecuencia y tiempo de exposición.

Pérdida según método de cálculo (dB) t=10a					
0.5k-1k-2k <sup>14</sup>	0.5k-1k-2k-4k	4k	2k-4k	DPU	N
0.6	2.4	7.8	4.8	1.3	N10,10
0.5	2.1	7.1	4.3	1.1	N20,10
0.4	1.9	6.5	3.9	1.0	N30,10
0.3	1.8	6.1	3.5	0.9	N40,10
0.2	1.6	5.7	3.2	0.8	N50, 10
0.2	1.5	5.3	2.9	0.7	N60,10
0.1	1.3	4.9	2.6	0.6	N70,10
0.1	1.2	4.4	2.3	0.5	N80,10
0.0	0.9	3.7	1.8	0.4	N90,10

**Tabla 9.37 Pérdida auditiva para 10 años de exposición, varios criterios**

Pérdida según método de cálculo (dB) t=20a					
0.5k-1k-2k	0.5k-1k-2k-4k	4k	2k-4k	DPU	N
0.8	2.9	9.0	5.8	1.7	N10,20
0.7	2.6	8.2	5.1	1.4	N20,20
0.6	2.3	7.6	4.7	1.3	N30,20
0.5	2.2	7.1	4.3	1.2	N40,20
0.4	2.0	6.6	3.9	1.1	N50,20
0.4	1.8	6.2	3.7	1.0	N60,20

<sup>14</sup> Se aclara la nomenclatura de la tabla: 0.5k-1k-2k: promedio 500, 1000 y 2000Hz, 0.5k-1k-2k-4k, promedio 500,1000,2000 y 4000Hz, 4k, pérdida en 4000Hz 2k-4k pérdida en (2000 + 4000)/2 Hz DPU como ya se definió

Pérdida según método de cálculo (dB) t=20a					
0.5k-1k-2k	0.5k-1k-2k-4k	4k	2k-4k	DPU	N
0.3	1.7	5.8	3.4	0.9	N70,20
0.3	1.5	5.3	3.1	0.8	N80,20
0.2	1.3	4.6	2.6	0.7	N90,20

**Tabla 9.38 Pérdida auditiva para 20 años de exposición, varios criterios**

Pérdida según método de cálculo (dB) t=30a					
0.5k-1k-2k	0.5k-1k-2k-4k	4k	2k-4k	DPU	N
1.0	3.2	9.7	6.3	1.8	N10,30
0.8	2.8	8.8	5.6	1.6	N20,30
0.7	2.6	8.2	5.2	1.5	N30,30
0.6	2.4	7.6	4.8	1.3	N40,30
0.6	2.2	7.1	4.4	1.2	N50,30
0.5	2.1	6.7	4.1	1.1	N60,30
0.5	1.9	6.3	3.9	1.1	N70,30
0.4	1.8	5.8	3.5	1.0	N80,30
0.3	1.5	5.2	3.1	0.8	N90,30

**Tabla 9.39 Pérdida auditiva para 30 años de exposición, varios criterios**

Pérdida según método de cálculo (dB) t=40a					
0.5k-1k-2k	0.5k-1k-2k-4k	4k	2k-4k	DPU	N
1.0	3.3	10.3	6.7	2.0	N10,40
0.9	3.0	9.3	6.0	1.7	N20,40
0.8	2.8	8.6	5.5	1.6	N30,40
0.7	2.5	8.0	5.1	1.5	N40,40
0.7	2.3	7.4	4.7	1.3	N50,40
0.6	2.2	7.1	4.4	1.3	N60,40
0.6	2.1	6.7	4.2	1.2	N70,40
0.5	1.9	6.2	3.9	1.1	N80,40
0.4	1.7	5.6	3.4	0.9	N90,40

**Tabla 9.40 Pérdida auditiva para 40 años de exposición, varios criterios**

Con los datos se grafican las pérdidas para las categorías listadas considerando los valores por edad, considerando una edad de ingreso estándar que permita extrapolar la edad a la antigüedad como forma de determinar la exposición.

Se discriminan para la planta de ácido cuatro subgrupos de edades: menores de 35 años, entre 36 y 45 años, entre 46 y 55, y mayores de 56 años, comparando contra los valores de las bases a 30, 40, 50 y 60 años respectivamente.

### 9.3.1 Caso 1: Promedio 500 - 1000 - 2000 Hz

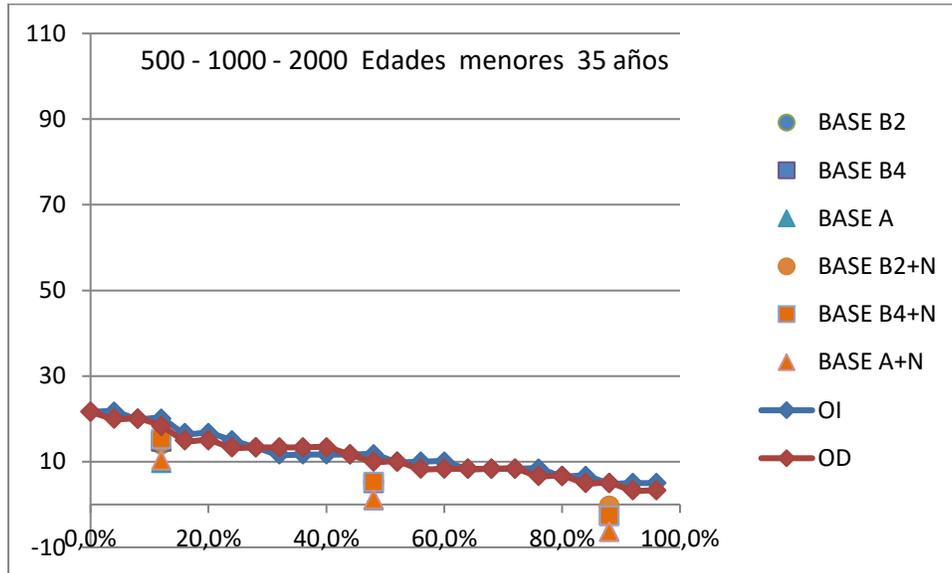


Figura 9.69. Comparación entre SAL y Bases A, B2 y B4 con y sin sumar la pérdida N inducida por exposición a ruido, población menor que 35 años, ambos oídos

Se grafican las pérdidas poblacionales contras las bases de datos y la pérdida por exposición a ruido para 10 años, según los percentiles correspondientes, se observa que en todos los casos la población tiene una pérdida mayor a la estimada por el método.

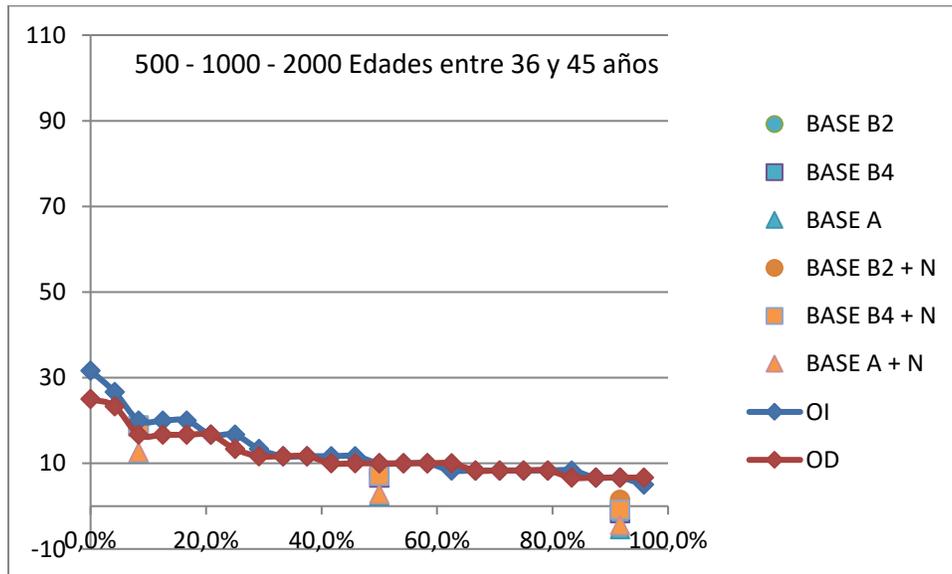


Figura 9.70. Comparación entre SAL y Bases A, B2 y B4 con y sin sumar la pérdida N inducida por exposición a ruido, población entre 36 y 45 años, ambos oídos

Del mismo modo se grafica para N 20 años, la superposición de los indicadores entre la base y la base más la pérdida inducida por ruido, muestra la poca significancia de la pérdida valorada por este método.

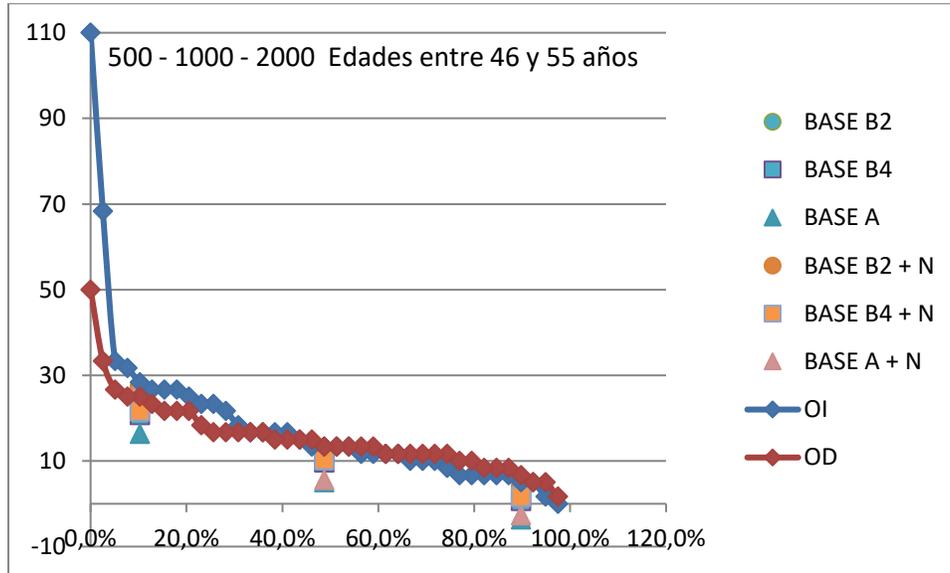


Figura 9.71. Comparación entre SAL y Bases A, B2 y B4 con y sin sumar la pérdida N inducida por exposición a ruido, población entre 46 y 55 años, ambos oídos

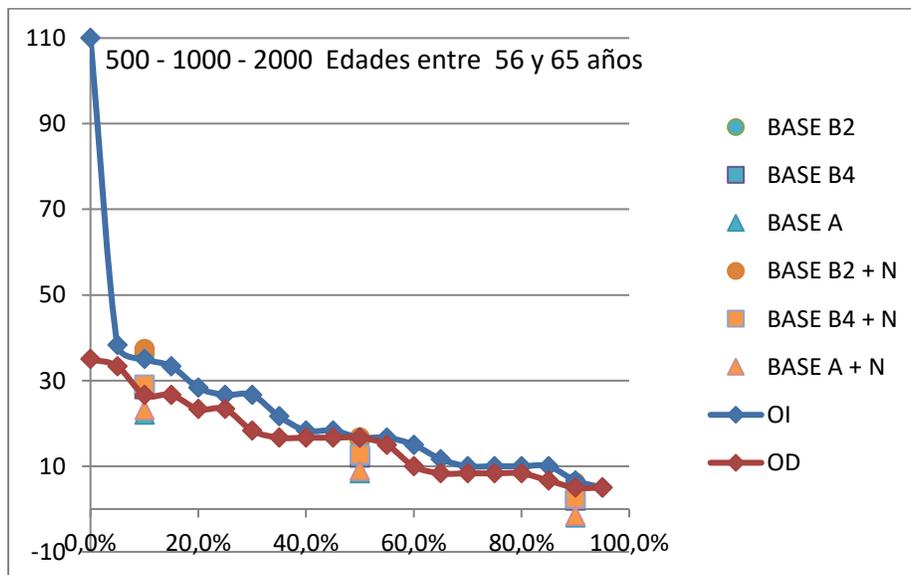


Figura 9.72. Comparación entre SAL y Bases A, B2 y B4 con y sin sumar la pérdida N inducida por exposición a ruido, población entre 56 y 65 años, ambos oídos

### 9.3.2 Caso 2.- Promedio 500 - 1000 - 2000 y 4000Hz

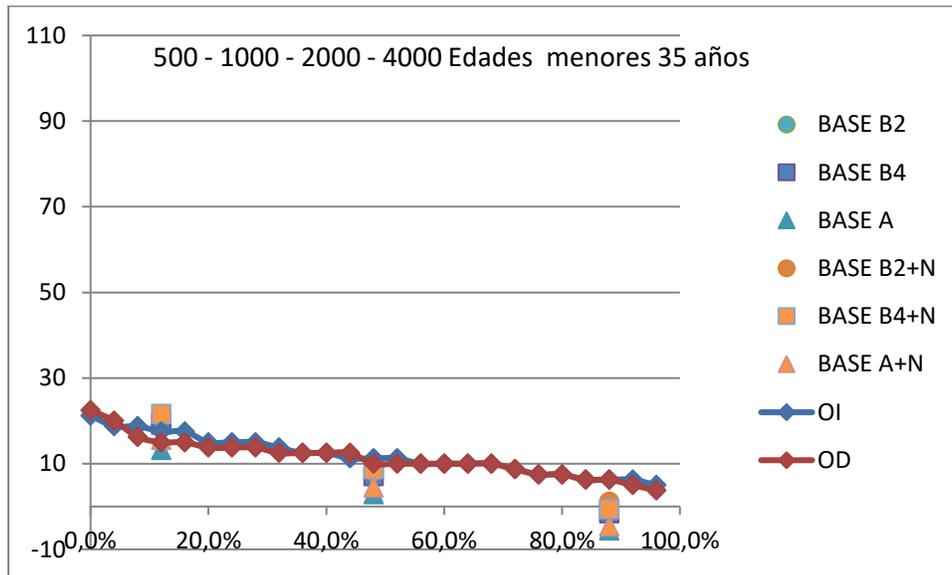


Figura 9.73. Comparación entre criterio  $(500+1000+2000+4000)/4$  y Bases A, B2 y B4 con y sin sumar la pérdida N inducida por exposición a ruido, población menor que 35 años, ambos oídos

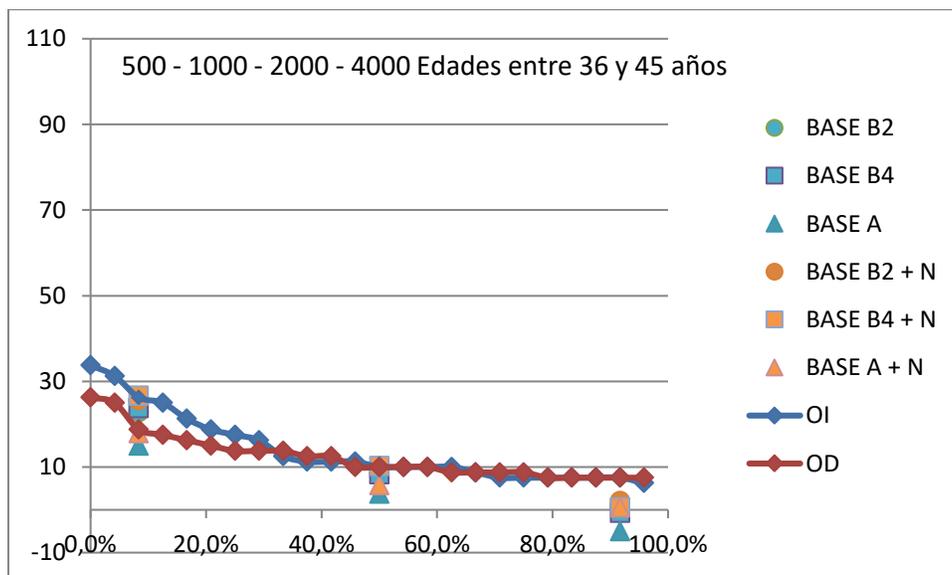


Figura 9.74. Comparación entre criterio  $(500+1000+2000+4000)/4$  y Bases A, B2 y B4 con y sin sumar la pérdida N inducida por exposición a ruido, población entre 36 y 45 años, ambos oídos

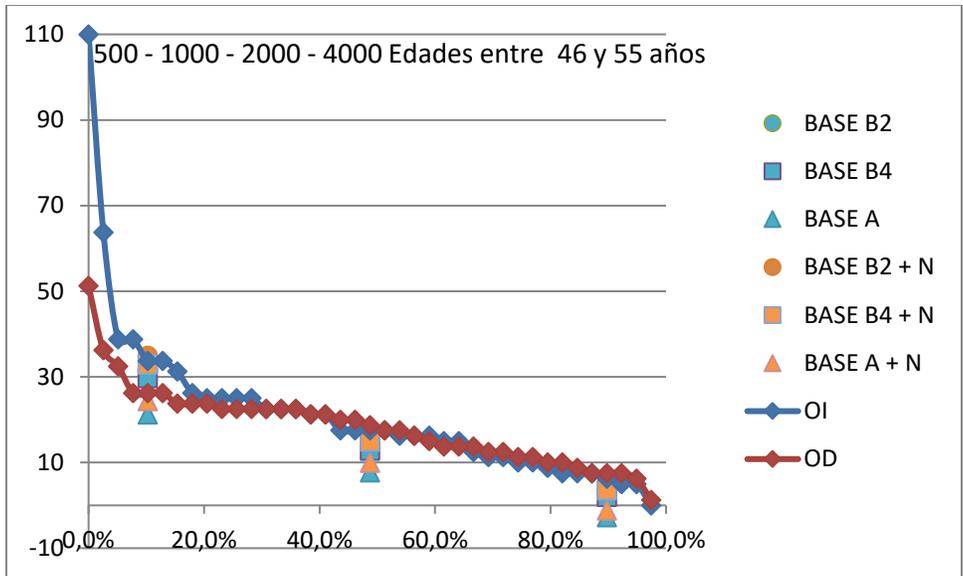


Figura 9.75. Comparación entre criterio  $(500+1000+2000+4000)/4$  y Bases A, B2 y B4 con y sin sumar la pérdida N inducida por exposición a ruido, población entre 46 y 55 años, ambos oídos

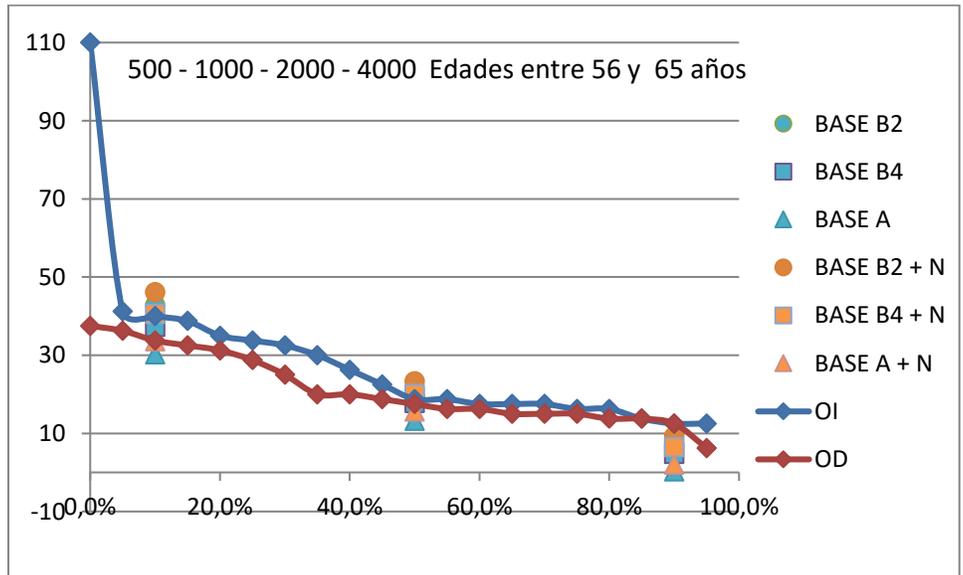


Figura 9.76. Comparación entre criterio  $(500+1000+2000+4000)/4$  y Bases A, B2 y B4 con y sin sumar la pérdida N inducida por exposición a ruido, población entre 56 y 65 años, ambos oídos

En este caso dada la inclusión de la frecuencia de 4000hz, la cual tiene una variación significativa se aprecia una diferencia entre el valor de las bases y el valor resultante de la suma de la pérdida por ruido, de hecho el valor para el percentil 50 es mayor para las bases B2 y B4 sumadas a N que el valor poblacional, hecho que no se verificaba en el grupo de análisis anterior.

### 9.3.3 Caso 3.- Pérdida 4000Hz

En esta evaluación se tomó el máximo valor de pérdida a 4000Hz de los dos oídos

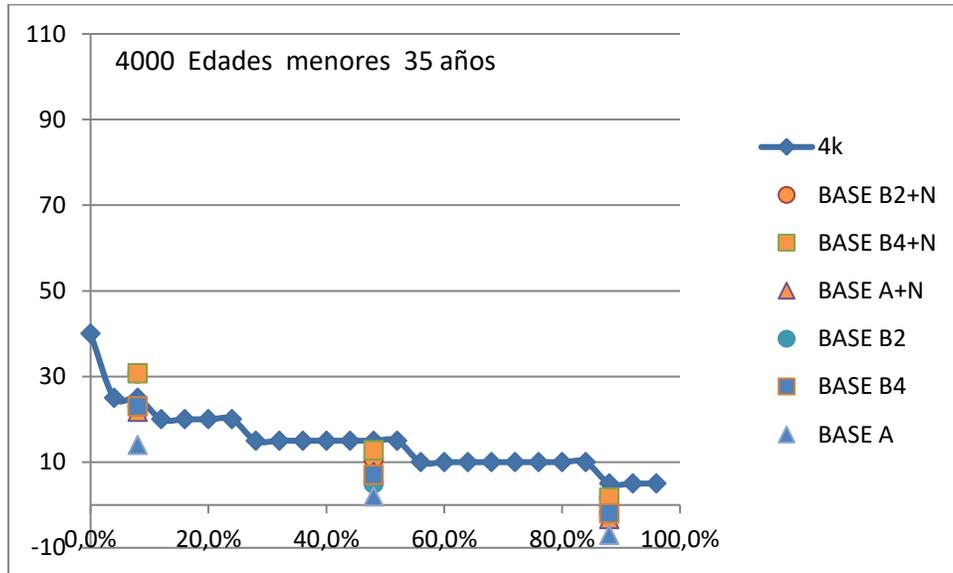


Figura 9.77. Comparación entre ELI y Bases A, B2 y B4 con y sin sumar la pérdida N inducida por exposición a ruido, población menor que 35 años

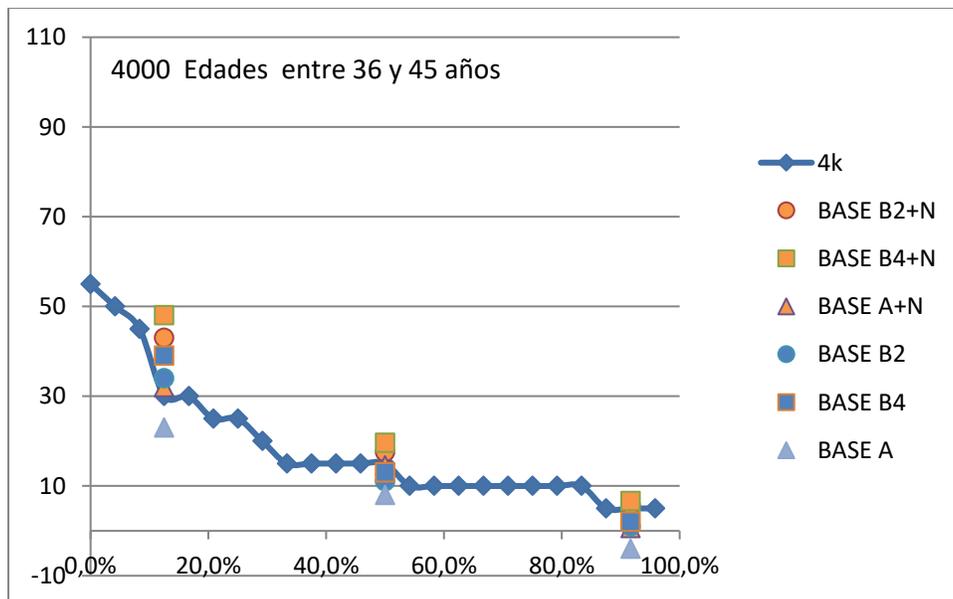


Figura 9.78. Comparación entre ELI y Bases A, B2 y B4 con y sin sumar la pérdida N inducida por exposición a ruido, población entre 36 y 45 años

En este caso se nota la incidencia de la pérdida esperable solo por este método dado que los valores se distinguen claramente entre los valores de las bases de datos y el agregado de la pérdida esperable inducida por ruido, de hecho para el percentil 50 la pérdida esperable a mayor a la efectivamente observada.

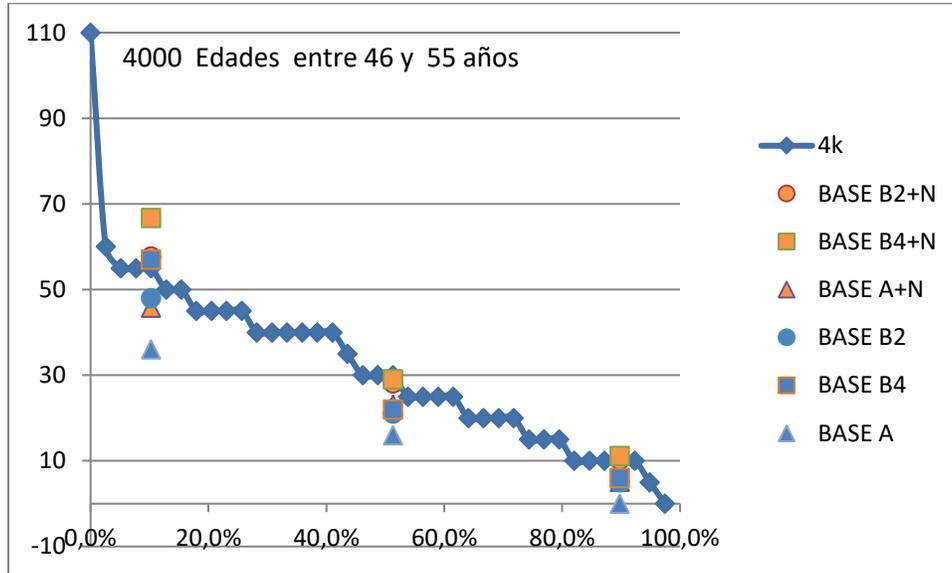


Figura 9.79. Comparación entre ELI y Bases A, B2 y B4 con y sin sumar la pérdida N inducida por exposición a ruido, población entre 46 y 55 años

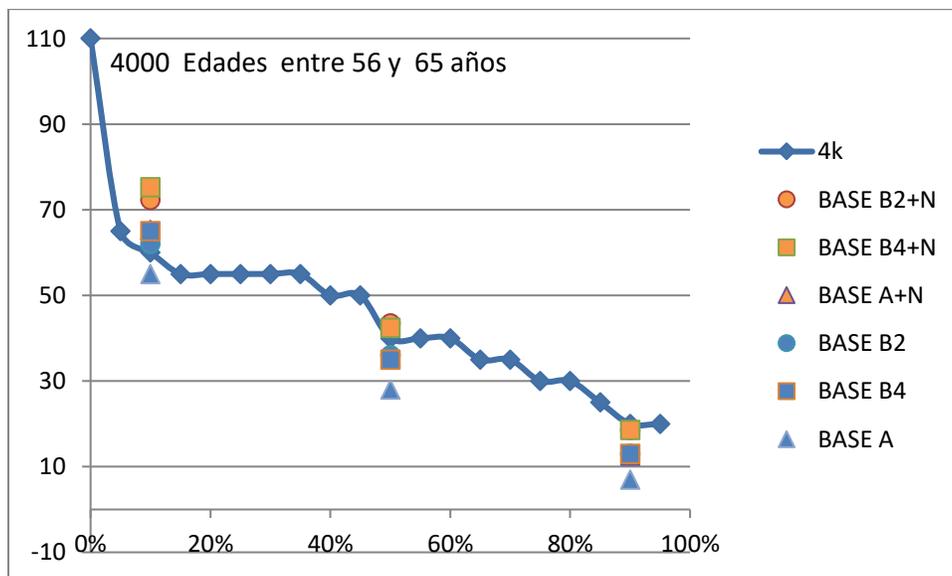


Figura 9.80. Comparación entre ELI y Bases A, B2 y B4 con y sin sumar la pérdida N inducida por exposición a ruido, población entre 56 y 65 años

En este caso para los percentiles 10 y 50 se observa una pérdida del orden de lo predicho por los niveles de exposición y la presbiacusia, siendo menor la pérdida para el percentil 90

### 9.3.4 Caso 4.- $(2000 + 4000)/2$

Para esta evaluación se realiza la operación indicada y se lista el máximo valor de pérdida.

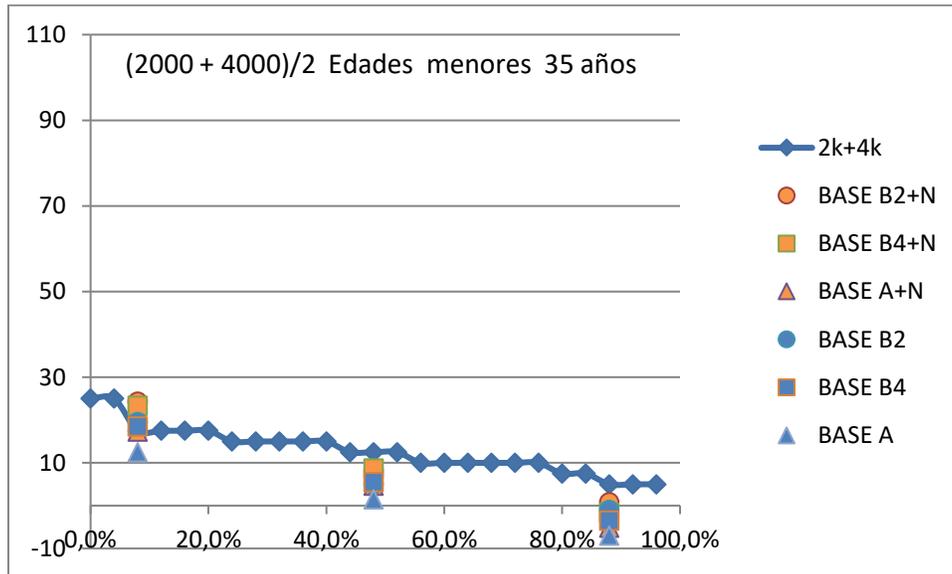


Figura 9.81. Comparación entre criterio  $(2000+4000)/2$  y Bases A, B2 y B4 con y sin sumar la pérdida N inducida por exposición a ruido, población menor que 35 años

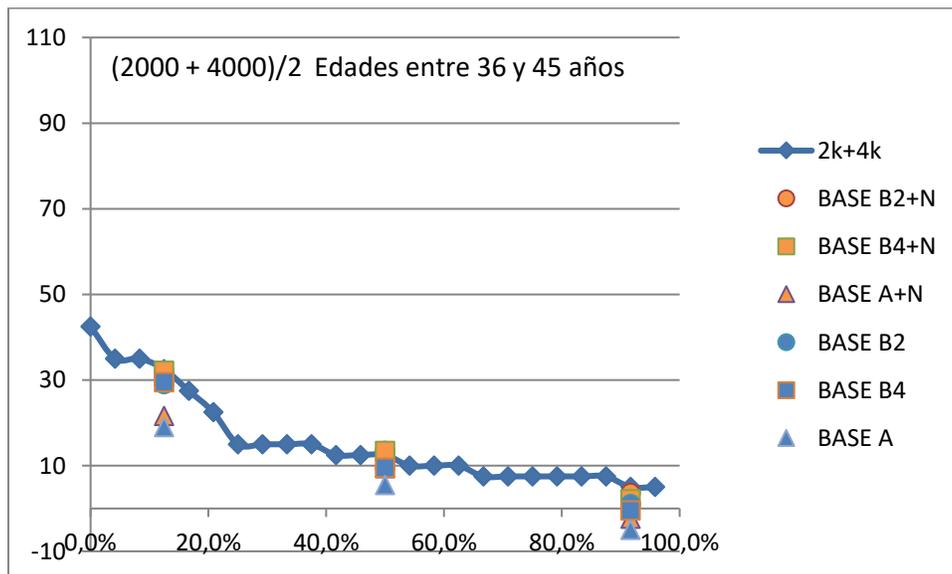


Figura 9.82. Comparación entre criterio  $(2000+4000)/2$  y Bases A, B2 y B4 con y sin sumar la pérdida N inducida por exposición a ruido, población entre 36 y 45 años

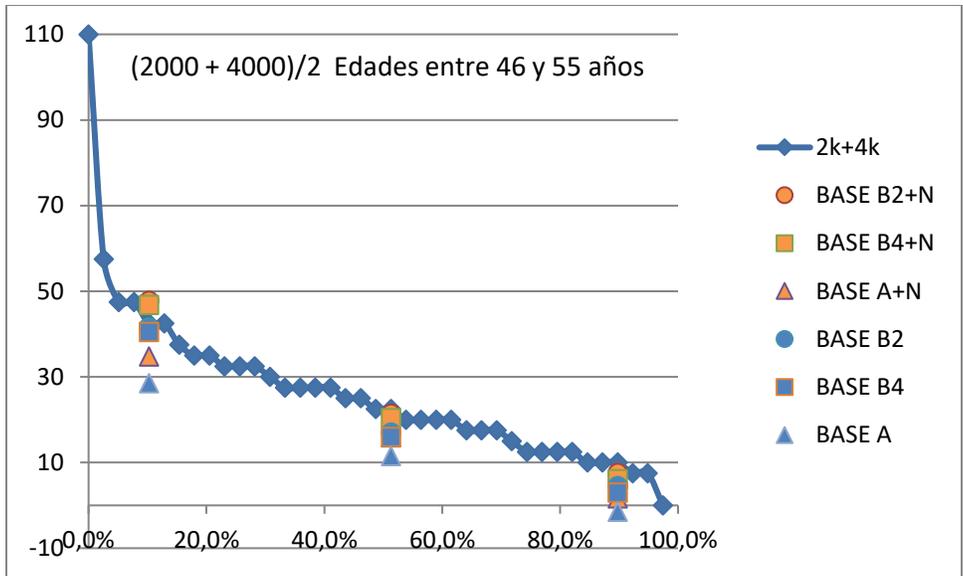


Figura 9.83. Comparación entre criterio  $(2000+4000)/2$  y Bases A, B2 y B4 con y sin sumar la pérdida N inducida por exposición a ruido, población entre 46 y 55 años

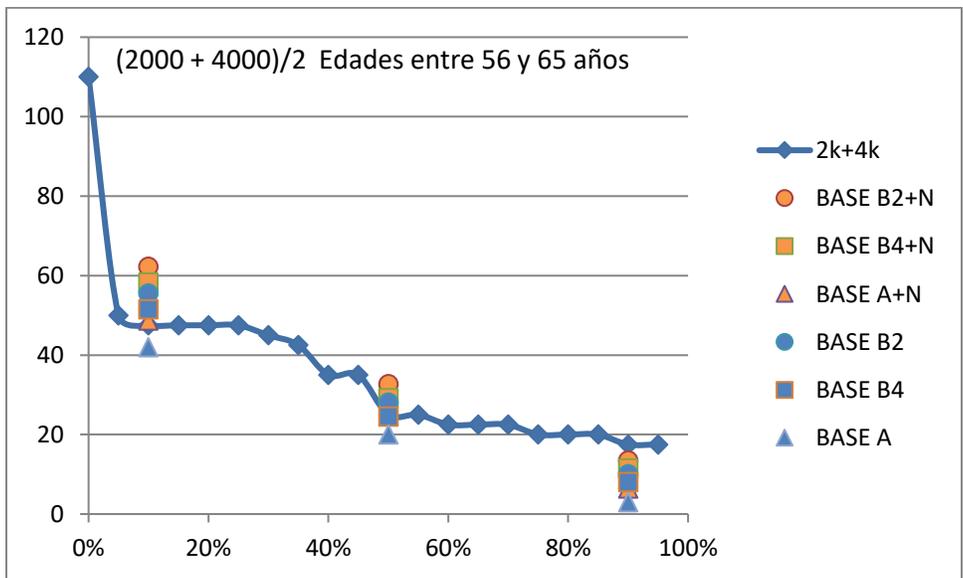


Figura 9.84. Comparación entre criterio  $(2000+4000)/2$  y Bases A, B2 y B4 con y sin sumar la pérdida N inducida por exposición a ruido, población entre 56 y 65 años

### 9.3.5 Caso 5.- DPU

A los efectos de este análisis se realiza la operación con las audiometrías determinando el máximo para los dos oídos

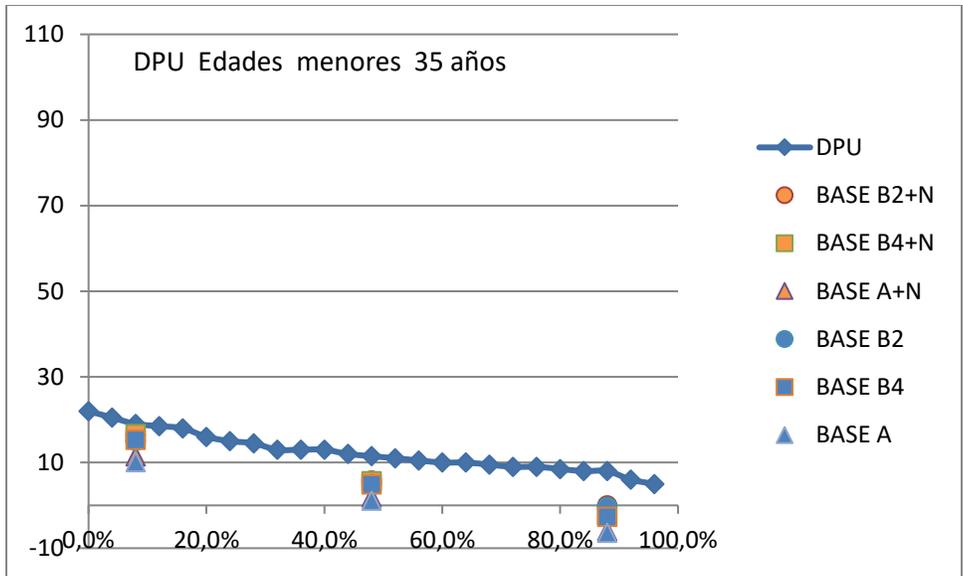


Figura 9.85. Comparación entre DPU y Bases A, B2 y B4 con y sin sumar la pérdida N inducida por exposición a ruido, población menor que 35 años

Se verifica dado el menor peso relativo de la frecuencia de 4000Hz en el cálculo de N que los valores con la pérdida esperada por exposición son muy similares a los de las bases

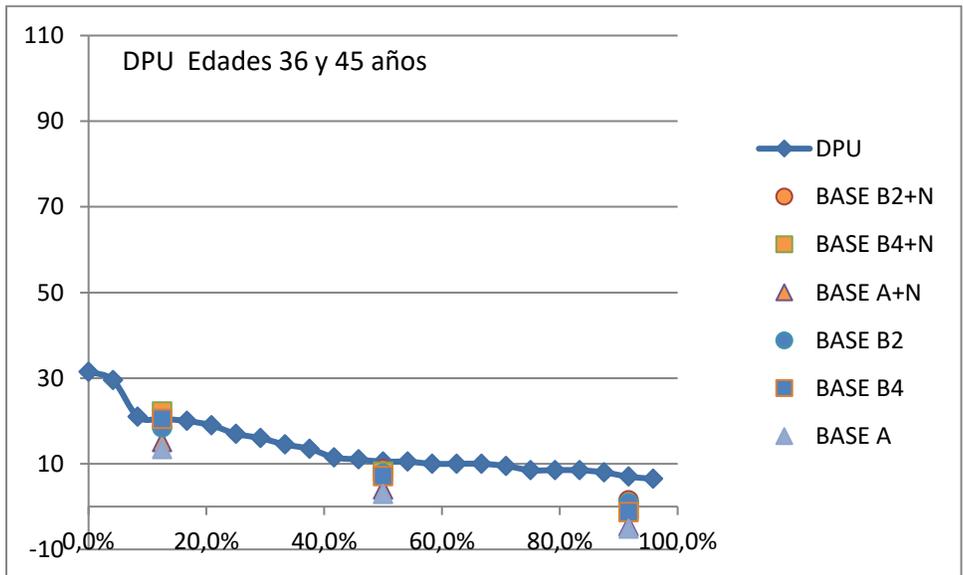


Figura 9.86. Comparación entre DPU y Bases A, B2 y B4 con y sin sumar la pérdida N inducida por exposición a ruido, población entre 36 y 45 años

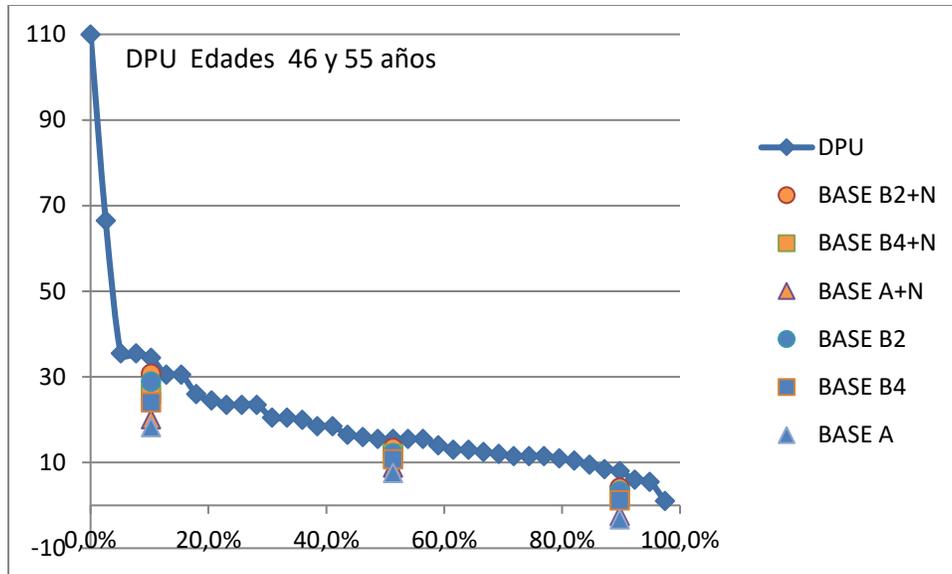


Figura 9.87. Comparación entre DPU y Bases A, B2 y B4 con y sin sumar la pérdida N inducida por exposición a ruido, población entre 46 y 55 años

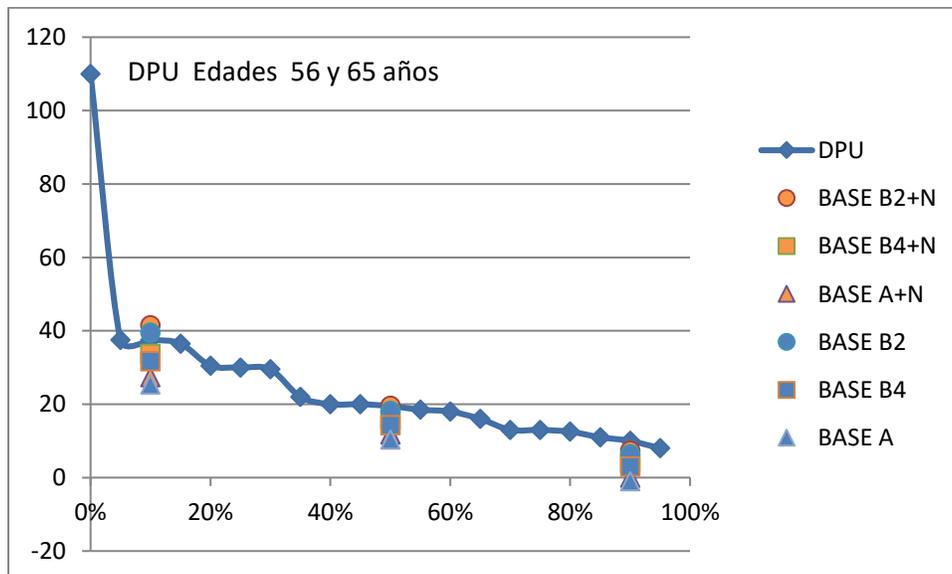
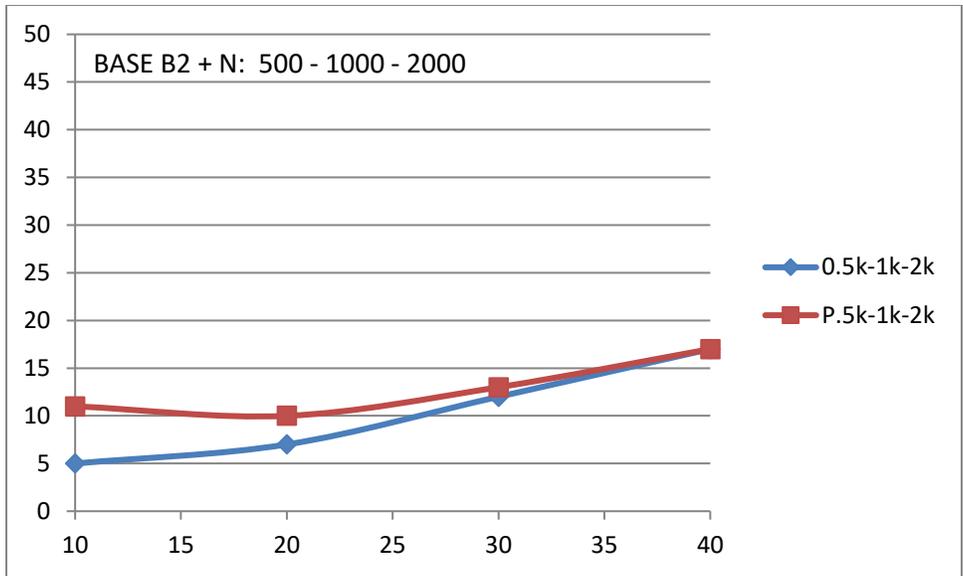


Figura 9.88. Comparación entre DPU y Bases A, B2 y B4 con y sin sumar la pérdida N inducida por exposición a ruido, población entre 56 y 65 años

#### 9.4 Comparación de estimadores

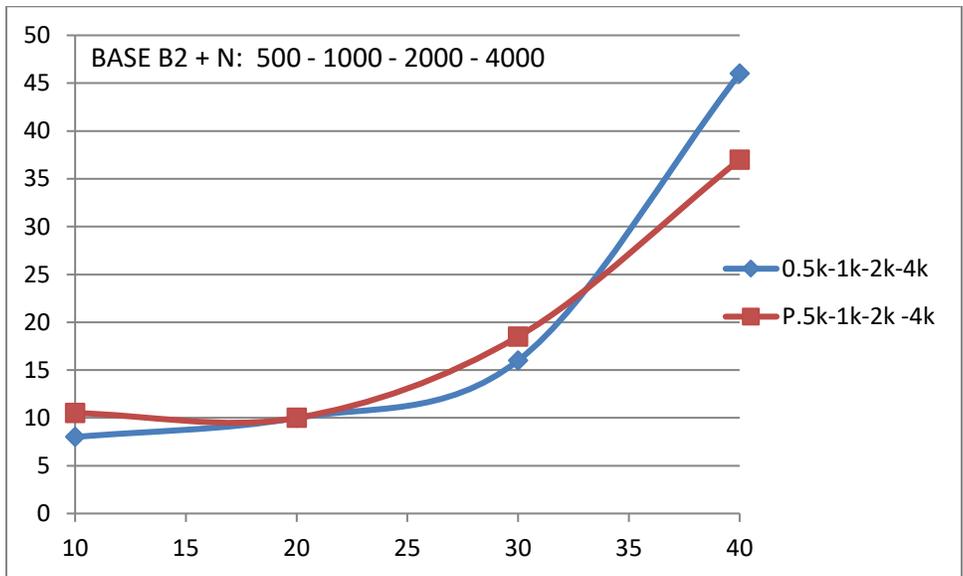
Con la información disponible se evalúa entonces el mejor estimador para la pérdida según los métodos utilizados, tomados para el percentil 50 en todos los casos:



P 0.5k – 1k - 2k: Pérdida poblacional promedio de 500 – 1000 - 2000Hz según años de exposición

0.5k – 1k - 2k: estimador B2 + N para promedio 500 – 1000 – 2000Hz

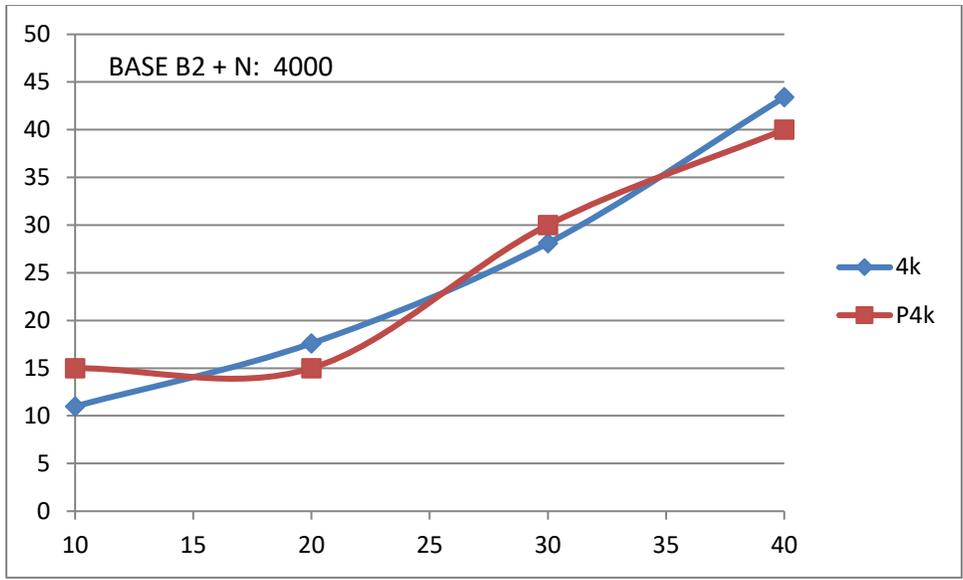
**Figura 9.89. Comparación de estimadores de la pérdida auditiva según edad, criterio SAL y Base B2+N**



P 0.5k – 1k - 2k – 4k: Pérdida poblacional promedio de 500 – 1000 – 2000 - 4000Hz según años de exposición

0.5k – 1k - 2k – 4k: estimador B2 + N para promedio 500 – 1000 – 2000 - 4000Hz

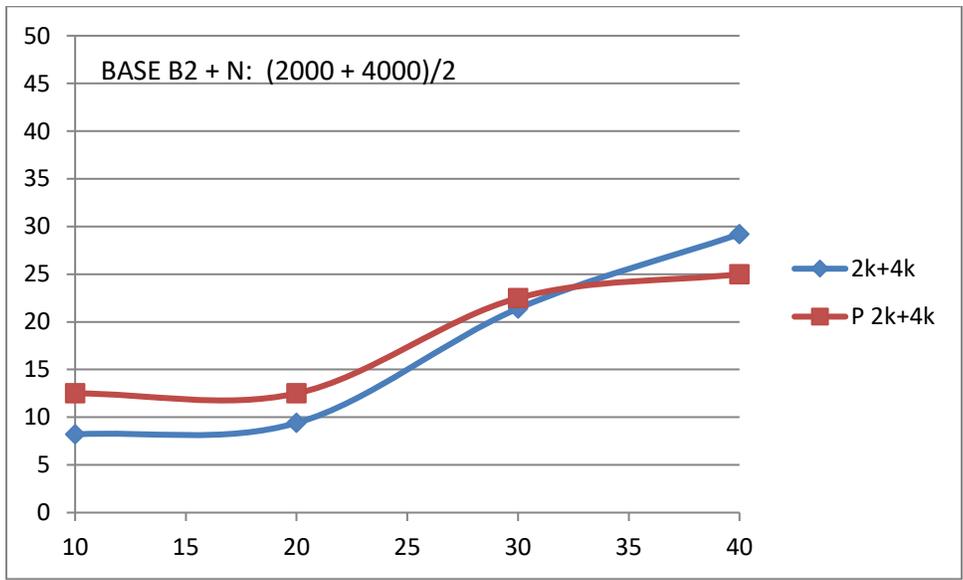
**Figura 9.90. Comparación de estimadores de la pérdida auditiva según edad, criterio  $(500+1000+2000+4000)/4$  y Base B2+N**



P 4k: Pérdida poblacional en 4000Hz según años de exposición

4k: estimador B2 + N

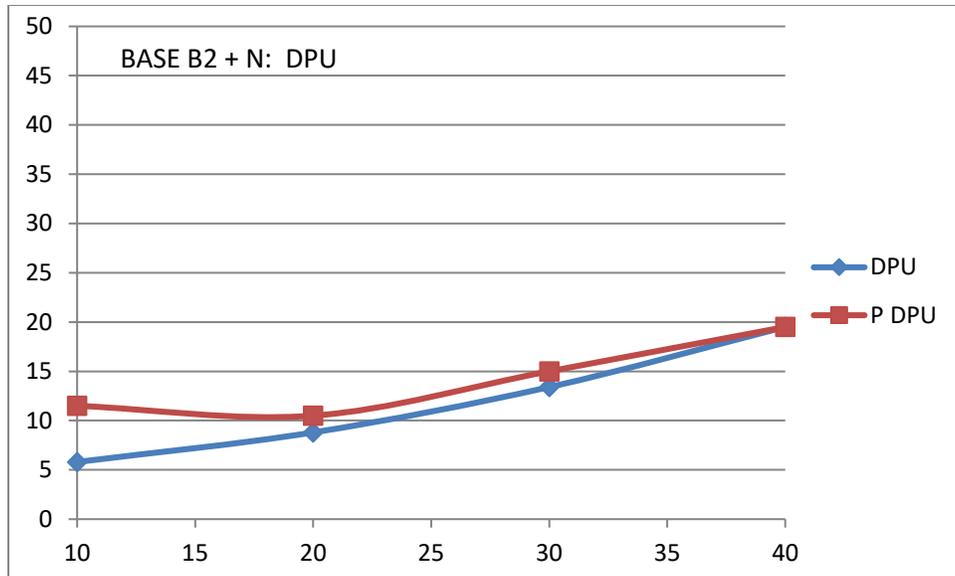
Figura 9.91. Comparación de estimadores de la pérdida auditiva según edad, criterio ELI y Base B2+N



P 2k + 4k: Pérdida poblacional promedio de 2000 y 4000Hz según años de exposición

2k + 4k: estimador B2 + N para promedio 2000 y 4000Hz

Figura 9.92. Comparación de estimadores de la pérdida auditiva según edad, criterio (2000+4000)/2 y Base B2+N



P DPU: Pérdida poblacional calculada como DPU

DPU: estimador B2 + N

Figura 9.93. Comparación de estimadores de la pérdida auditiva según edad, criterio DPU y Base B2+N

A continuación se replica el análisis con la base B4:

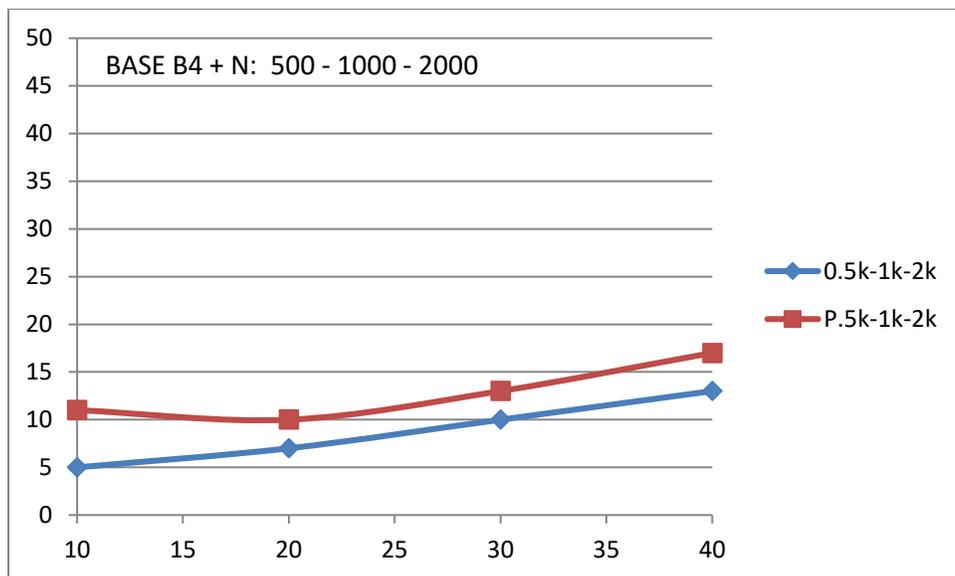


Figura 9.94. Comparación de estimadores de la pérdida auditiva según edad, criterio SAL y Base B4+N

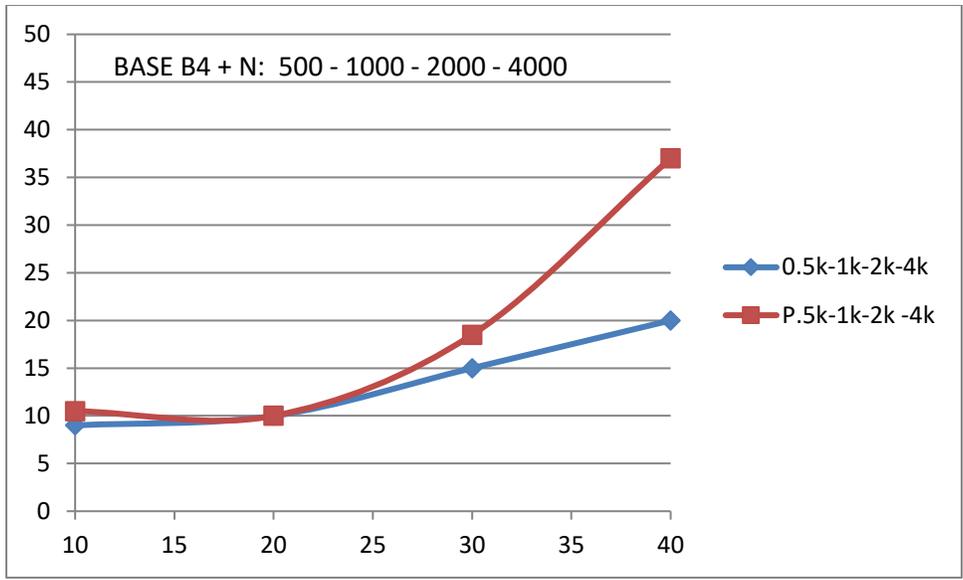


Figura 9.95. Comparación de estimadores de la pérdida auditiva según edad, criterio  $(500+1000+2000+4000)/4L$  y Base B4+N

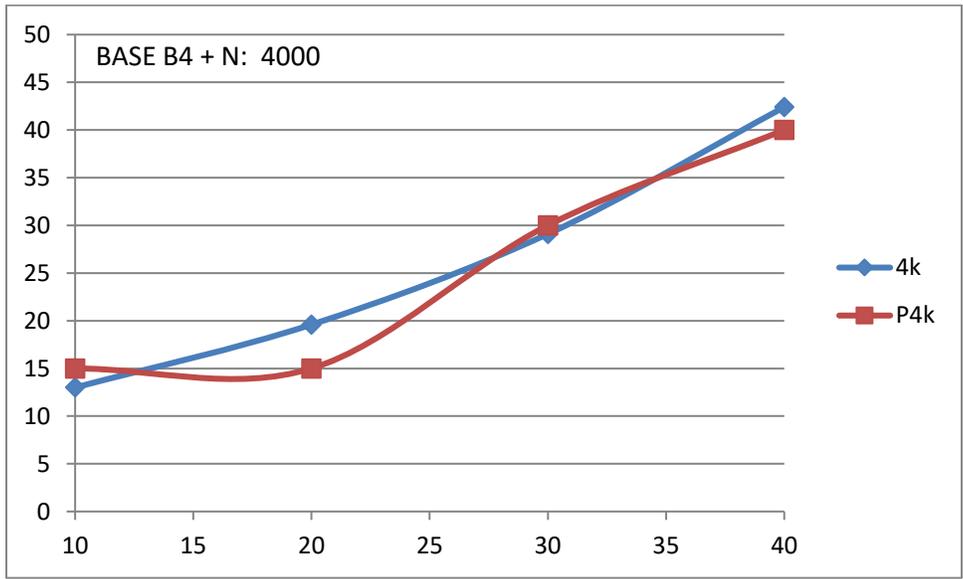


Figura 9.96. Comparación de estimadores de la pérdida auditiva según edad, criterio ELI y Base B4+N

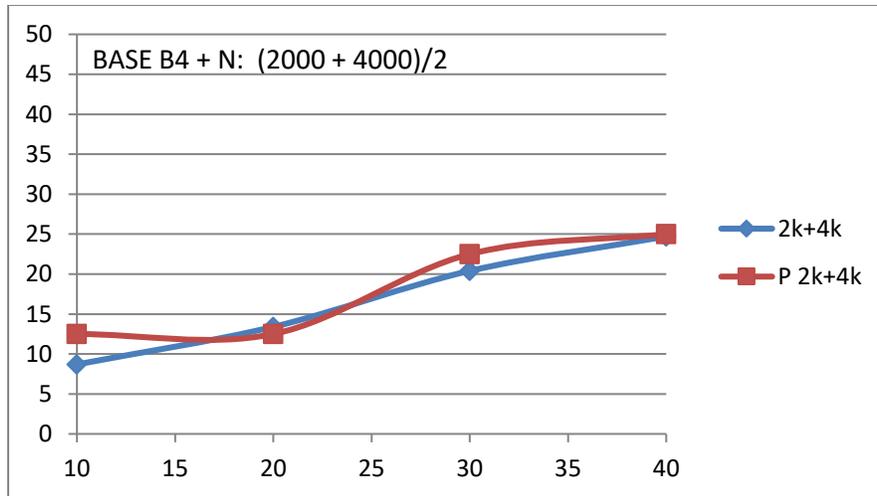


Figura 9.97. Comparación de estimadores de la pérdida auditiva según edad, criterio (2000+4000)/2 y Base B4+N

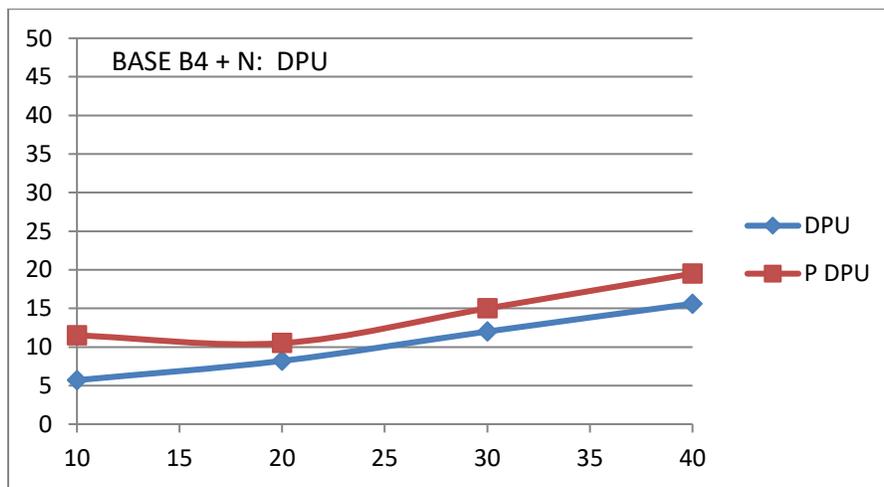


Figura 9.98. Comparación de estimadores de la pérdida auditiva según edad, criterio DPU y Base B4+N

años	B2 + N			B4 + N	
	P.5k-1k-2k	0.5k-1k-2k	DC <sup>15</sup>	0.5k-1k-2k	DC
10	11	5	36	5	36
20	10	7	9	7	9
30	13	12	1	10	9
40	17	17	0	13	16
			<b>46</b>		<b>70</b>

Tabla 9.41 Comparación de estimadores de la pérdida auditiva según años de exposición, criterio SAL, Bases B2+N y B4+N

<sup>15</sup> DC: Cuadrado de la diferencia entre los valores poblacionales y el valor de la base más la pérdida

años	P.5k-1k-2k-4k	B2 + N		B4 + N	
		0.5k-1k-2k-4k	DC	0.5k-1k-2k-4k	DC
10	10.5	8	6.25	9	2.25
20	10	10	0	10	0
30	18.5	16	6.25	15	12.25
40	37	46	81	20	289
		<b>93.5</b>		<b>303.5</b>	

Tabla 9.42 Comparación de estimadores de la pérdida auditiva según años de exposición, criterio  $(500+1000+2000+4000)/4$ , Bases B2+N y B4+N

años	P4k	B2 + N		B4 + N	
		4k	DC	4k	DC
10	15	11	16	13	4
20	15	17.6	6.76	19.6	21.16
30	30	28.1	3.61	29.1	0.81
40	40	43.4	11.56	42.4	5.76
		<b>37.93</b>		<b>31.73</b>	

Tabla 9.43 Comparación de estimadores de la pérdida auditiva según años de exposición, criterio ELI, Bases B2+N y B4+N

años	P 2k+4k	B2 + N		B4 + N	
		2k+4k	DC	2k+4k	DC
10	12.5	8.2	18.49	8.7	14.44
20	12.5	9.4	9.61	13.4	0.81
30	22.5	21.4	1.21	20.4	4.41
40	25	29.2	17.64	24.7	0.09
		<b>46.95</b>		<b>19.75</b>	

Tabla 9.44 Comparación de estimadores de la pérdida auditiva según años de exposición, criterio  $(2000+4000)/2$ , Bases B2+N y B4+N

años	P DPU	B2 + N		B4 + N	
		DPU	DC	DPU	DC
10	11.5	5.8	32.49	5.7	33.64
20	10.5	8.8	2.89	8.2	5.29
30	15	13.4	2.56	12	9
40	19.5	19.5	0	15.6	15.21
		<b>37.94</b>		<b>63.14</b>	

Tabla 9.45 Comparación de estimadores de la pérdida auditiva según años de exposición, criterio DPU, Bases B2+N y B4+N

Con la información disponible, la mejor estimación de la pérdida esperable es la del método  $(2000 + 4000)/2$  utilizando la base B4.

## 10 Conclusiones

Se constatan ciertas incongruencias en definiciones tan básicas como la pérdida auditiva en sí misma, la metodología de evaluación, la periodicidad de seguimiento y la valoración de la presbiacusia a los efectos de evaluar la pérdida profesional propiamente dicha, es por ello que no sorprende que hayan tantas disparidades en las distintas normativas internacionales al respecto tanto de los valores máximos admisibles exposición como criterios de seguimiento y evaluación.

Dichas disparidades, tienen ciertos agravantes dado que por una parte tiene la limitación propia de cualquier exposición potencialmente crónica, lo cual siempre genera una complejidad en la definición de exposición segura, y a su vez, que por las características del contaminante, la exposición no laboral podría ser tanto o más perjudicial lo que repercute en el análisis causa efecto de la exposición laboral.

En el caso particular de nuestro país, se entiende que el método de evaluación es inconveniente, como ya se abordó oportunamente, desde el punto de vista de utilizar el DPU como criterio de valoración implica una detección tardía, no proactiva e incluso difícilmente reparadora ya que para cuantificarse pérdida como tal el daño auditivo, debe ser profundo para implicar los niveles de frecuencias con esa ponderación, máxime que el método establecen una corrección por presbiacusia de 0.5 dB/año después de los 40 años, por otra parte, no se cuenta a nivel nacional de una base de datos propia de referencia que permita evaluar la pérdida inducida por ruido considerando en el contexto local la situación poblacional en cuanto a la socioacusia.

Como fue planteado en el punto 5.2.6 por la mesa de consenso argentino: la Hipoacusia Inducida por ruido sin incapacidad debe considerarse como una enfermedad profesional, enfocada en el carácter preventivo y no en el de incapacidad e indemnización, desde esa perspectiva la utilización del DPU como elemento diagnóstico resulta insuficiente en lo referido a prevención y, dado que es el propio Banco de Seguros del Estado quien tiene la discrecionalidad tanto de evaluación de la pérdida, como en la definición de incapacidad se entiende que debería evaluarse de forma independiente por otro organismo para evitar el conflicto de intereses.

Analizando la población objetivo, resulta llamativo y preocupante el deterioro auditivo en la porción más joven de la población, lo cual estaría indicando una componente no valorada de la socioacusia a la que esta población está expuesta, en este escenario resulta imperativo realizar audiometrías preocupacionales para la evaluación de la socioacusia como elemento de base al momento no evaluado.

A los efectos de la evaluación temprana y preventiva se entiende conceptualmente que la metodología más adecuada es la de ELI a falta de mayores estudios para confirmar el hallazgo del mejor ajuste de la predicción de pérdida poblacional con el método  $(2000+4000)/2$  con la base B4 para el caso de los valores experimentales obtenidos.

## 11 Bibliografía

- Álvarez C.; Romero, M.; Prieto, A. (2016). Evaluación epidemiológica en trabajadores de policía local y bomberos. Rev Asoc Esp Med Trab, Junio 2016 Vol 25 Num 2 pp. 50 - 112
- Basner M, Babisch W, Davis A, Brink M, Clark C, Janssen S, Stansfeld S. Auditory and non-auditory effects of noise on health. Lancet. 2014 Apr 12;383(9925):1325-1332. doi: [10.1016/S0140-6736\(13\)61613-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61613-X). Epub 2013 Oct 30. PMID: 24183105; PMCID: PMC3988259.
- Bullen RB, Hede AJ. Time-of-day corrections in measures of aircraft noise exposure. J Acoust Soc Am. 1983 May;73(5):1624-30. doi: [10.1121/1.389428](https://doi.org/10.1121/1.389428). PMID: 6863741.
- C148 - Convenio sobre el medio ambiente de trabajo (contaminación del aire, ruido y vibraciones), 1977 (núm. 148)  
[http://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100\\_ILO\\_CODE:C148](http://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C148)
- Decreto N° 406/988 - REGLAMENTO DE SEGURIDAD E HIGIENE OCUPACIONAL. SEGURIDAD LABORAL  
<https://www.impo.com.uy/bases/decretos/406-1988>
- Decreto N° 143/012 FIJACION DE MEDIDAS PARA EVITAR LAS CONSECUENCIAS PERJUDICIALES EN LA SALUD DE LOS TRABAJADORES, POR LA INTENSIDAD DE LA PRESION SONORA (RUIDO),  
<https://www.impo.com.uy/bases/decretos/143-2012>
- DIRECTIVA 2003/10/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 6 de febrero de 2003 sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (ruido) <https://www.boe.es/doue/2003/042/L00038-00044.pdf>
- González, Alice Elizabeth Acústica Ambiental. Instrumentos y mediciones. Cuaderno 2 Montevideo, UdelaR – FI – IMFIA, 2017
- Guía para selección y control de Protectores auditivos, 2da impresión, Departamento de Salud Ocupacional, Instituto de Salud Pública, Ministerio de Salud Chile 2012
- Harris, Manual para el control de ruido I Edición en español, 1977
- Hipoacusia inducida por el ruido en el ámbito laboral, Mesa de consenso para la vigilancia de la salud de los trabajadores, superintendencia de riesgos del trabajo, ministerio de producción y trabajo, presidencia de la nación 2018
- Info LEG, RIESGOS DEL TRABAJO Decreto 659/96, Ministerio de Justicia y Derechos Humanos, Presidencia de la Nación <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/35000-39999/37573/norma.htm>

Lafon, Jean Claude, Duclos, Jean Claude, Methode pratique d'estimation de la nocivité acoustique d'un atelier et proposition d'un bareme d'invalidité, Bulletin d'audiophonologie, Vol 9 Num 8, 1978

MERCOSUR/CMC/REC. N° 01/20 "GUIA DE SALUD Y SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES EN EL MERCOSUR") <https://normas.mercosur.int/public/normativas/3921>

Monitor enfermedades profesionales BSE 2021  
<https://institucional.bse.com.uy/inicio/servicios/monitor-accidentes-del/monitor-enfermedades-profesionales/>

MSP Ordenanza 145/009 <https://www.gub.uy/ministerio-salud-publica/institucional/normativa/ordenanza-n-145009-ordenanza-14509>

MSP <https://www.gub.uy/ministerio-salud-publica/comunicacion/noticias/personas-sordas-hipoacusia-primera-vez-ministerio-salud-publica>

NORMA Oficial Mexicana NOM-011-STPS-2001, Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido. (2002) <http://asinom.stps.gob.mx:8145/upload/noms/Nom-011.pdf>

NTP 638: Estimación de la atenuación efectiva de los protectores auditivos, instituto nacional de seguridad e higiene del trabajo, ministerio de trabajo y asuntos sociales, España 2003

NTP 136: Valoración del trauma acústico, instituto nacional de seguridad e higiene del trabajo, ministerio de trabajo y asuntos sociales, España 1989

Occupational noise exposure: A review of its effects, epidemiology, and impact with recommendations for reducing its burden Christa L. Themann, and Elizabeth A. Masterson The Journal of the Acoustical Society of America 146, 3879 (2019); [doi: 10.1121/1.5134465](https://doi.org/10.1121/1.5134465)

OSHA1910.95 Occupational Health and Environmental Control Occupational noise exposure <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.95>

Pascal W. M. Van Gerven, Henk Vos, Martin P. J. Van Boxtel, Sabine A. Janssen, Henk M. E. Miedema Annoyance from environmental noise across the lifespan, 2009 The Journal of the Acoustical Society of America 187-194

Protocolo Exposición Ocupacional a Ruido (PREXOR), División Políticas Públicas Saludables y Promoción, Departamento de Salud Ocupacional, Ministerio de Salud Chile 2011

Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. Referencia: BOE-A-2006-4414. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2006/03/10/286/con>

Recomendación biap 02/1 CLASIFICACIÓN AUDIOMÉTRICA DE LAS DEFICIENCIAS AUDITIVAS. Lisboa 1997

Soluciones de aislamiento acústico, materiales ANDMAT (Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes) [www.andmat.es](http://www.andmat.es) Junio 2009

Tabla Médico Legal de Incapacidades Permanentes por Secuelas de Enfermedades Profesionales y Accidentes de Trabajo, Banco de Seguros del Estado, 1999  
<https://www.bse.com.uy/wps/wcm/connect/89ad3e41-60fa-4991-828664e7c26e0f62/Tabla+Médico+Legal.pdf?>

Walker, E.D., Brammer, A., Cherniack, M.G., Laden, F., and Cavallari, J.M. (2016). Cardiovascular and Stress Responses to Short-Term Noise Exposures—A Panel Study in Healthy Males, *Environmental Research*. 150: 391–397.

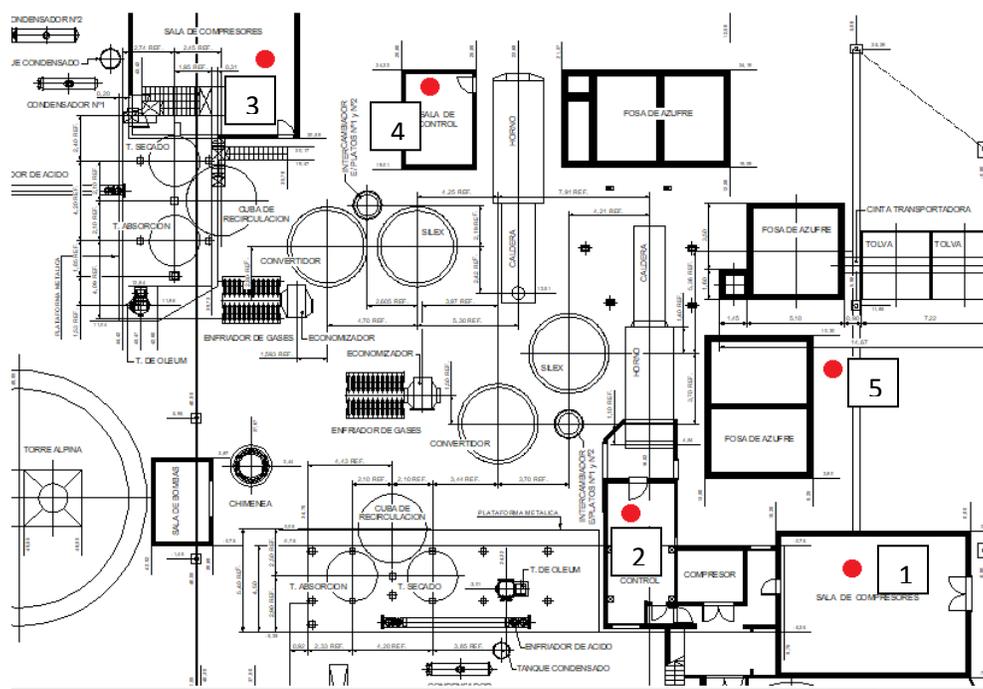
WHO/UCN/NCD/SDR 20.22 INFORME MUNDIAL SOBRE LA AUDICIÓN

World Health Organization (2018). *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2018. ISBN 978-92 890-5356-3

Zhou L, Ruan X, Wang T, Xie H, Hu Y, Shi Z, Xin J, Zhou J, Xue P, Wei F, Zhang Y, Zhang M and Zou H. (2022) Epidemiological characteristics of hearing loss associated with noise temporal structure among manufacturing workers. *Front. Integr. Neurosci.* 16:978213. doi: 10.3389/fnint.2022.978213

## 12 Anexo

A continuación se describen las mediciones de campo realizadas en las plantas de ácido. Las ubicaciones para la toma de mediciones se ubican en la siguiente planta (Figura 12.1).



**Figura 12.1. Puntos de medición de niveles de presión sonora**

Las mediciones se realizaron el día 14/9/22 en los puntos indicados, con un sonómetro marca Brüel&Kjaer modelo 2250, Clase 1 según IEC 61672:2013, con analizador en bandas de tercio de octava en tiempo real; la última calibración de laboratorio, debido a la pandemia, se realizó en 2019.

Los registros fotográficos de los puntos de medición se presentan en las imágenes que se presentan en la Tabla 12.1.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 12.3.

Como comentarios generales, se puede anotar:

- En todos los puntos hay alto contenido de energía en bajas frecuencias ( $C - A \geq 10$ ).
- No hay componentes impulsivos, y salvo las dos salas de control, en los otros tres puntos los niveles se mueven en un intervalo de no más de 5 dB.

El espectro de ruido de los compresores de lóbulos se presenta en la Figura 12.2, el cual es de importancia a los efectos del dimensionamiento de una propuesta de control de ruido para adecuación de las salas de los compresores.

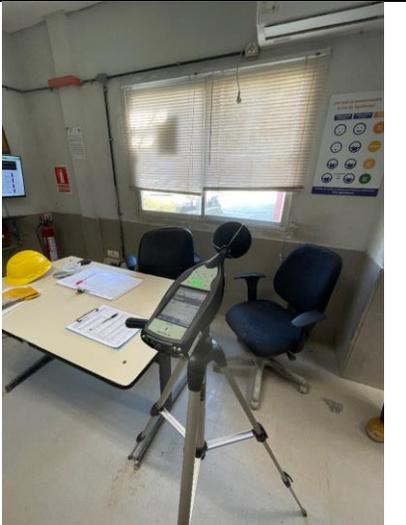
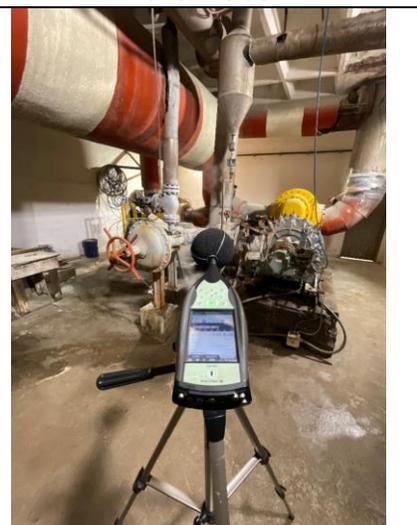
																				
<p>Punto medición 1 Sala soplador Planta Ácido 1</p>	<p>Punto medición 2 Sala Control Planta Ácido 1</p>	<p>Punto medición 5 Puesto de Trabajo Exterior</p>																		
		<table border="1" data-bbox="1036 926 1393 1209"> <thead> <tr> <th>Punto</th> <th>L<sub>AF,eq</sub> (dB)</th> <th>L<sub>CF,eq</sub> (dB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>99,3</td> <td>109,6</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>60,9</td> <td>73,9</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>102,0</td> <td>119,3</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>60,6</td> <td>75,7</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>75,0</td> <td>93,8</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="1068 1388 1398 1423">Principales valores medidos</p>	Punto	L <sub>AF,eq</sub> (dB)	L <sub>CF,eq</sub> (dB)	1	99,3	109,6	2	60,9	73,9	3	102,0	119,3	4	60,6	75,7	5	75,0	93,8
Punto	L <sub>AF,eq</sub> (dB)	L <sub>CF,eq</sub> (dB)																		
1	99,3	109,6																		
2	60,9	73,9																		
3	102,0	119,3																		
4	60,6	75,7																		
5	75,0	93,8																		
<p>Punto medición 3 Sala soplador Planta Ácido 2</p>	<p>Punto medición 4 Sala Control Planta Ácido 2</p>																			

Tabla 12.1 Registros fotográficos de los puntos de medición

Punto	L <sub>AFeq</sub>	L <sub>CFeq</sub>	L <sub>AFeq</sub> - L <sub>CFeq</sub>	L <sub>CFeq</sub> - L <sub>AFeq</sub>	L <sub>AFmáx</sub>	L <sub>AF1</sub>	L <sub>AF5</sub>	L <sub>AF10</sub>	L <sub>AF50</sub>	L <sub>AF90</sub>	L <sub>AF95</sub>	L <sub>AF99</sub>	L <sub>AFmín</sub>
Soplador 1	99,3	109,6	0	10	102,3	101,1	100,3	100,1	99,4	98,1	97,9	97,7	97,4
Sala de control 1	60,9	73,9	1	13	73,2	68,2	61,9	60,8	60,2	59,7	59,6	59,4	58,9
Soplador 2	102,0	119,3	0	17	103,5	103,2	102,9	102,8	101,9	101,2	101,0	100,2	99,6
Sala de control 2	60,6	75,7	6	15	81,7	68,9	63,4	62,1	58,6	57,8	57,5	57,0	56,6
Puesto de trabajo exterior	75,0	93,8	1	19	77,4	76,4	76,1	75,8	74,9	73,7	73,5	73,2	72,7

Tabla 12.2 Parámetros relevados en cada punto de medición (todos los valores en dB)

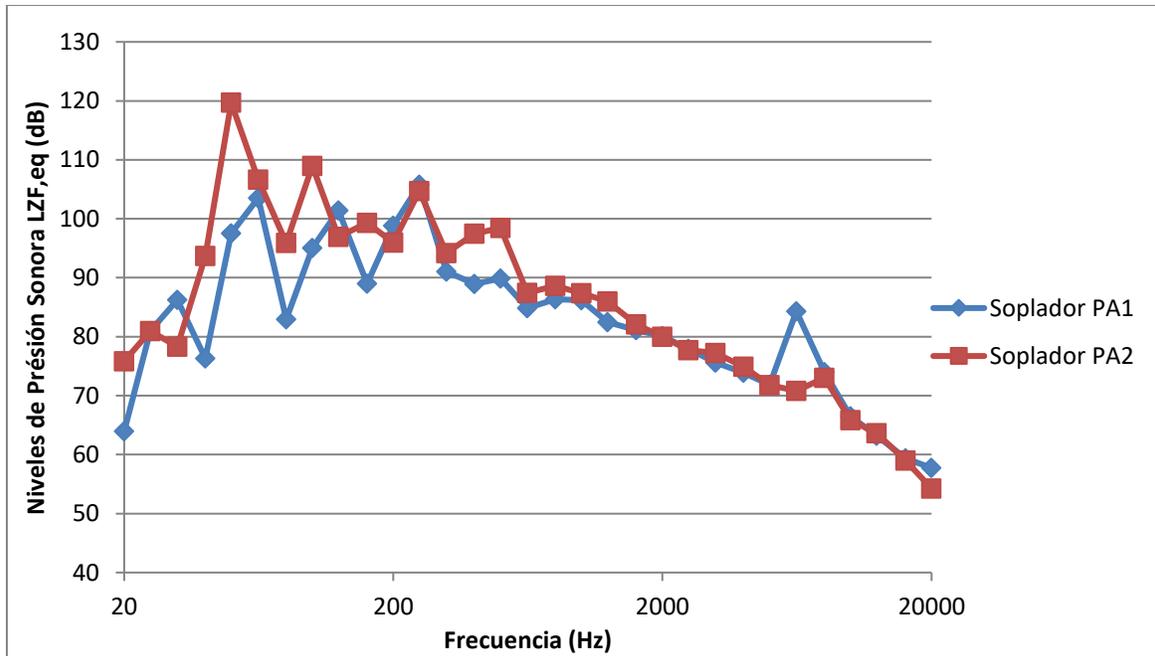


Figura 12.2. Espectros de ruido (en BTO) de los compresores

Dado que son equipos similares, no solo en principio de funcionamiento sino en capacidad operativa, y que la infraestructura asociada a ellos desde el punto de vista de los locales en que se encuentran también lo es, es esperable que el comportamiento de los espectros medidos se asemeje.

Los valores medidos en cada BTO se muestran en la Tabla 12.3. Puede verse que los máximos se encuentran en baja frecuencia. Es por ello que la solución técnica para acondicionamiento acústico de los locales debe incluir -aunque no exclusivamente- sistemas absorbentes de baja frecuencia tipo resonadores.

En primera instancia, y a efectos de los dimensionamientos de los acondicionamientos necesarios, los espectros se expresan como bandas de octava en la Tabla 12.4 en lugar de como están presentados en la Tabla 12.3.

Las características de las salas de los sopladores son:  $L \times A \times H = 7 \times 3 \times 3$  (m); estructura de piso, paredes y techo de hormigón, con una puerta de madera de  $1,5 \times 2$  m y un portón de chapa de  $4 \times 3$  m.

Se trabajará con soluciones de absorción. A efectos de determinar la condición inicial, se realiza el análisis de los elementos de la sala. Por falta de información, y por tratarse de un cálculo exploratorio, no se toman en consideración las máquinas propiamente dichas ni los ductos de transporte de aire.

**Tabla 12.3 Espectros medidos en BTO (niveles  $L_{zF,eq}$ , en dB)**

<b>frecuencia (Hz)</b>	<b>Soplador PA1</b>	<b>Soplador PA2</b>
<b>12.5</b>	73.1	71.2
<b>16</b>	77.7	66.6
<b>20</b>	64.0	75.8
<b>25</b>	80.9	81.0
<b>31.5</b>	86.3	78.3
<b>40</b>	76.3	93.7
<b>50</b>	97.5	119.7
<b>63</b>	103.5	106.6
<b>80</b>	83.0	95.9
<b>100</b>	95.0	109.0
<b>125</b>	81.7	77.2
<b>160</b>	89.0	99.3
<b>200</b>	98.8	96.0
<b>250</b>	91.5	90.4
<b>315</b>	91.0	94.2
<b>400</b>	89.0	97.5
<b>500</b>	77.3	85.9
<b>630</b>	84.8	87.5
<b>800</b>	86.4	88.6
<b>1000</b>	81.6	82.8
<b>1250</b>	82.5	86.0
<b>1600</b>	81.1	82.1
<b>2000</b>	76.7	76.6
<b>2500</b>	77.9	77.7
<b>3150</b>	75.6	77.3
<b>4000</b>	70.5	71.6
<b>5000</b>	71.8	71.8
<b>6300</b>	84.3	70.8
<b>8000</b>	74.0	73.0
<b>10000</b>	66.5	65.8
<b>12500</b>	63.2	63.7
<b>16000</b>	59.4	59.0
<b>20000</b>	57.7	54.3

**Tabla 12.4 Espectros medidos, expresados en BO (niveles  $L_{zF,eq}$ , en dB)**

f(Hz)	Soplador 1	Soplador 2
16	79.1	77.5
31.5	87.7	94.1
63	104.5	119.9
125	96.2	109.4
250	100.1	98.8
500	90.6	98.1
1000	88.8	91.2
2000	83.8	84.3
4000	78.0	79.2
8000	84.8	75.6

Se trabaja con las constantes del recinto  $R_{abs}$  para estimar la reducción de niveles de presión sonora, a partir de la expresión:

$$L_p = L_w + 10 \log \left( \frac{4}{R_{abs}} \right)$$

Como  $L_w$  no cambia, al despejar se obtiene una expresión que permite calcular los niveles de presión sonora en cada BO, considerando las condiciones de absorción del local:

$$L_{pf} = L_{p0} + 10 \log \left[ \frac{R_0}{R_f} \right]$$

**Tabla 12.5 Cálculo de parámetros de la sala (condiciones iniciales)**

ELEMENTO	AREA m <sup>2</sup>	TERMINACION	63	125	250	500	1000	2000	4000
PISO	21	Hormigón	0.001	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
TECHO	21	Hormigón	0.001	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05
MUROS	45	Hormigón pintado	0.001	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
PORTÓN	12	Chapa	0.001	0.05	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02
PUERTA	3	MADERA DE PINO	0.001	0.3	0.2	0.2	0.1	0.07	0.04
<b>AREA TOTAL S (m<sup>2</sup>)</b>	102								

ELEMENTO	$(\alpha_i \times S_i)$						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
PISO	0.021	0.21	0.21	0.42	0.42	0.42	0.42
TECHO	0.021	0.42	0.42	0.63	0.63	0.84	1.05
MUROS	0.045	0.45	0.45	0.45	0.9	0.9	0.9
PORTÓN	0.012	0.6	0.36	0.24	0.24	0.36	0.24

ELEMENTO	$(\alpha_i \times S_i)$						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
PUERTA	0.003	0.9	0.6	0.6	0.3	0.21	0.12
<b>TOTAL</b>	<b>0.102</b>	<b>2.58</b>	<b>2.04</b>	<b>2.34</b>	<b>2.49</b>	<b>2.73</b>	<b>2.73</b>

INICIAL	63	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha T = \Sigma(\alpha_i \times S_i) / ST$	0.001	0.025	0.02	0.023	0.024	0.027	0.027
$A = \alpha T \times ST \text{ (m}^2\text{)}$	0.102	2.58	2.04	2.34	2.49	2.73	2.73
$R_0 = A / (1 - \alpha T) \text{ (m}^2\text{)}$	<b>0.102</b>	<b>2.647</b>	<b>2.082</b>	<b>2.395</b>	<b>2.552</b>	<b>2.805</b>	<b>2.805</b>

Como elementos absorbentes y dado los espectros obtenidos, se plantean:

- En una de las paredes laterales se colocará un manto de lana de vidrio de 5 cm de espesor
- En otra de las paredes, se instalarán resonadores de Helmholtz para una frecuencia de absorción de 63 Hz; la superficie a cubrir es de dimensiones 4 x 3 m

Con esas modificaciones se determina el nuevo valor de R.

**Tabla 12.6 Cálculo de parámetros de la sala considerando elementos absorbentes**

ELEMENTO	AREA m <sup>2</sup>	TERMINACION	63	125	250	500	1000	2000	4000
PISO	21	Hormigón	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
TECHO	21	Hormigón	0	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05
MUROS	12	Hormigón pintado	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
PORTÓN	12	Chapa	0	0.05	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02
PUERTA	3	MADERA DE PINO	0	0.3	0.2	0.2	0.1	0.07	0.04
Mat. Absorbente	21	Lana de vidrio 5 cm	0	0.4	0.65	0.78	0.87	0.82	0.75
Helmholtz	12	Resonadores	0.8	0	0	0	0	0	0
<b>AREA TOTAL S (m<sup>2</sup>)</b>	<b>102</b>								

ELEMENTO	$(\alpha_i \times S_i)$						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
PISO	0	0.21	0.21	0.42	0.42	0.42	0.42
TECHO	0	0.42	0.42	0.63	0.63	0.84	1.05
MUROS	0	0.12	0.12	0.12	0.24	0.24	0.24
PORTÓN	0	0.6	0.36	0.24	0.24	0.36	0.24
PUERTA	0	0.9	0.6	0.6	0.3	0.21	0.12
Mat. Absorbente	0	8.4	13.65	16.38	18.27	17.22	15.75
Helmholtz	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>9.6</b>	<b>10.65</b>	<b>15.36</b>	<b>18.39</b>	<b>20.1</b>	<b>19.29</b>	<b>17.82</b>

<b>FINAL</b>	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>
$\alpha T = \Sigma(\alpha_i x S_i) / ST$	0.094	0.104	0.151	0.18	0.197	0.189	0.175
$A = \alpha T \times ST \text{ (m}^2\text{)}$	9.6	10.65	15.36	18.39	20.1	19.29	17.82
<b><math>R_f = A / (1 - \alpha T) \text{ (m}^2\text{)}</math></b>	<b>10.6</b>	<b>11.89</b>	<b>18.08</b>	<b>22.43</b>	<b>25.03</b>	<b>23.79</b>	<b>21.59</b>

De acuerdo al dimensionamiento se calculan entonces los nuevos valores esperados en las salas correspondientes:

**Tabla 12.7 Niveles finales estimados**

<b>Frecuencias (Hz)</b>	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>
$L_{p_0}$ Soplador 1 (dB)	104.5	96.2	100.1	90.6	88.8	83.8	78
$L_{p_0}$ Soplador 2 (dB)	119.9	109.4	98.8	98.1	91.2	84.3	79.2
$R_0$	0.102	2.647	2.082	2.395	2.552	2.805	2.805
$R_f$	10.6	11.89	18.08	22.43	25.03	23.79	21.59
<b><math>L_{p_f}</math> Soplador 1 (dB)</b>	<b>84.3</b>	<b>89.7</b>	<b>90.7</b>	<b>80.9</b>	<b>78.9</b>	<b>74.5</b>	<b>69.1</b>
<b><math>L_{p_f}</math> Soplador 2 (dB)</b>	<b>99.7</b>	<b>102.9</b>	<b>89.4</b>	<b>88.4</b>	<b>81.3</b>	<b>75.0</b>	<b>70.3</b>

Luego a efectos de evaluar la diferencia lograda, se hace el paso a escala de ponderación A:

<b>Frecuencias (Hz)</b>	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>	<b><math>L_{Aeq}</math></b>
$L_{p_{0,A}}$ Soplador 1	78.3	80.1	91.5	87.4	88.8	85.0	79.0	<b>95.2</b>
$L_{p_{0,A}}$ Soplador 2	93.7	93.3	90.2	94.9	91.2	85.5	80.2	<b>100.2</b>
ESCALA A	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1,0	<b><math>L_{Aeq}</math></b>
$L_{p_{f,A}}$ Soplador 1	58.1	73.6	82.1	77.7	78.9	75.7	70.1	<b>85.7</b>
$L_{p_{f,A}}$ Soplador 2	73.5	86.8	80.8	85.2	81.3	76.2	71.3	<b>90.6</b>

Se entiende entonces que la incorporación de ambos absorbentes es adecuada, dado que en ambos casos la diferencia es cercana a 10 dB, siendo que la energía disminuye a la mitad cada 3 dB. Además, dependiendo de la realización de los resonadores, podría estarse incorporando un área absorbente adicional.