

Cuadro No. 12.7

Porcentaje del total de personas con capacidad disminuida (probabilidad de daño)

Nivel equivalente de ruido continuo dB (A)	Riesgo, % o % total de personas con capacidad disminuida	Porcentajes Años de exposición									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
80	(a) Riesgo, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	(b) % total de disminución	1	2	3	5	7	10	14	21	33	50
85	(a) Riesgo, %	0	1	3	5	6	7	8	9	10	7
	(b) % total de disminución	1	3	6	10	13	17	22	30	43	57
90	(a) Riesgo, %	0	4	10	14	16	16	16	18	20	15
	(b) % total de disminución	1	6	13	19	23	26	32	41	54	65
95	(a) Riesgo, %	0	7	17	24	28	29	31	32	29	23
	(b) % total de disminución	1	9	20	29	35	39	45	53	62	73
100	(a) Riesgo, %	0	12	29	37	42	43	44	44	41	33
	(b) % total de disminución	1	14	32	42	49	53	58	65	74	83
105	(a) Riesgo, %	0	18	43	53	58	60	62	61	54	41
	(b) % total de disminución	1	20	45	58	65	70	76	82	87	91
110	(a) % total de disminución	0	26	55	71	78	78	77	72	62	45
	(b) total de disminución	1	28	58	76	85	88	91	93	95	95
115	(a) Riesgo, %	0	36	71	83	87	84	81	75	64	47
	(b) % total de disminución	1	38	74	88	94	94	95	96	97	97

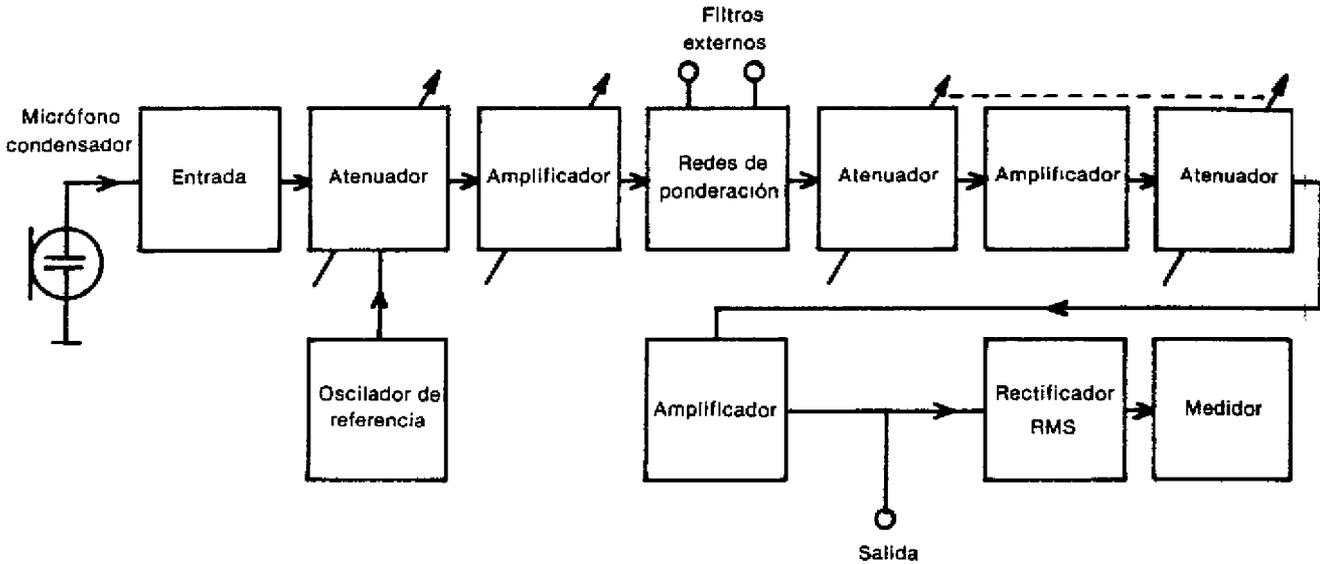
(a) Relación entre el nivel equivalente de ruido continuo durante el trabajo para exposiciones entre 0 y 45 años y el riesgo de disminución de la capacidad auditiva para la palabra hablada.
 (b) Porcentaje total de personas que sufren disminución de la capacidad auditiva para la palabra hablada en un grupo expuesto. (El porcentaje de personas que sufren disminución en un grupo no expuesto es igual al porcentaje en un grupo expuesto a niveles de ruido continuo inferiores a 80 dB [A]).

NOTA.— Estos valores se basan en el limitado número de datos experimentales disponibles en este momento y están sujetos a revisión a medida que se den a la luz los resultados de nuevas investigaciones.

Los equipos utilizados para la evaluación del ruido en la industria son el sonómetro y el dosímetro; equipos que se pueden representar en diagrama de la forma siguiente:

Figura No. 12.6

Esquema de medidores de sonido



Sin embargo, una amplia experiencia internacional ha demostrado que, con la red de ponderación A, generalmente se obtiene la máxima correlación entre las mediciones físicas y las evaluaciones subjetivas del fenómeno acústico. Bostforc, Young y Peterson han demostrado que los dB (A) constituyen una estimación razonablemente fiable y fácil de medir.

TIPOS GENERALES DE EXPOSICION AL RUIDO

Existen cuatro tipos generales del ruido al cual se expone un individuo en el trabajo; ruido fluctuante; ruido inestable; y ruido por impulso.

Ruido estable o continuo es aquél que registra una variación, en su nivel sonoro, no superior a (más o menos) 2 dB.

Ruido inestable es aquél que registra una variación en su nivel, superior a (más o menos) 2 dB.

Ruido fluctuante es el inestable que se registra durante un periodo igual o mayor a un segundo y se repite un número determinado de veces.

El ruido por impulso o impacto, es el inestable que se registra durante un periodo menor a un segundo.

CONTROL DEL RUIDO

El sonido es la consecuencia de una vibración; por tanto, se puede generar en formas muy diferentes, de acuerdo con lo que vibre. Se dice así que las causas que originan el sonido son:

1. Mecánicas
2. Neumáticas
3. Explosiones o implosiones
4. Hidráulicas
5. Magnéticas

Toda causa mecánica es una forma de excitación cinética de las diversas partes de una máquina. Se debe pensar que las causas mecánicas obedecen a que una o más piezas se encuentran en movimiento efectivo; esto es, toda pieza que se mueva, ya sea en traslación, rotación, o en un movimiento compuesto por estas dos, puede producir sonidos de manera mecánica, al hacer vibrar a otras piezas, si tal vibración se encuentra dentro del ámbito sonoro. El sonido mecánico es una transformación de la energía cinética y/o potencial en energía acústica. Toda causa mecánica requiere la interacción de dos o más piezas.

Las causas mecánicas se originan en dos tipos de acciones:

1. Impacto
2. Fricción

El impacto es la aplicación de desaparición brusca de la fuerza que actúa sobre una pieza, causando en ésta un esfuerzo de deformación. Se debe entender que estas posibilidades constituyen extremos opuestos, desde un punto de vista físico ya que la aplicación brusca de la fuerza implica una cantidad de movimiento (momentum) con la cual la referida fuerza actúa en función de la velocidad de aplicación; lo que no ocurre en el caso de desaparición de la fuerza, ya que aquí actúa únicamente la fuerza de recuperación elástica de la pieza.

Es evidente que, en ambos casos —y de aquí la generalidad de la definición—, lo que importa es la fuerza de recuperación elástica de la pieza, que es la que la hace vibrar después del choque o debido a la fuerza. La deformación contiene una cantidad de energía potencial que, gracias a las propiedades elásticas del material, será transformada en energía acústica.

El impacto en una máquina puede ser voluntario o involuntario. Es voluntario cuando constituye parte de la esencia de la máquina (una troqueladora, por

ejemplo); es involuntario cuando se produce a pesar de haber sido diseñada para no causarlo.

Fricción es la fuerza que se opone al movimiento relativo de dos cuerpos en contacto.

Puede ser estática o dinámica; sea que los cuerpos sufran o no un desplazamiento relativo. Ambos casos dependen de las fuerzas con que se mantienen en contacto las piezas y de las superficies que se friccionan. Cuando los cuerpos comienzan a desplazarse entre sí, la fricción no va a depender de la velocidad relativa de los dos cuerpos. El valor de la fricción dinámica es menor que el de la estática.

Como la superficie de contacto de las dos piezas puede variar al moverse la máquina, la fuerza de fricción variará en magnitud y en dirección, causando desequilibrios de tal variación, los que a su vez producen deformaciones elásticas y éstas, consecuentemente, vibraciones.

El lubricante es un material fluido y viscoso que tiende a eliminar parcial o totalmente la fricción. En efecto, cuando entre las dos superficies coloca una película de lubricante, se logra que el contacto sea mínimo.

El nivel de presión acústica aumenta con el grado de rugosidad de las superficies en contacto, y disminuye por la lubricación, de tal forma que, en muchos casos, niveles sonoros elevados son síntoma de mala lubricación.

Si, por su parte, el impacto puede causar deformaciones permanentes de las piezas en contacto, con el resultado de aumentar la longitud de la carrera y ocasionar un aumento progresivo en la energía del impacto, en cuanto se refiere a la fricción dinámica ésta causa abrasión de las superficies, y, finalmente, al pulirlas (disminución del grado de rugosidad) una fricción progresivamente menor y, por tanto, menos sonido. Además, cuando se desea mantener entre dos piezas una fricción estática (bandas y poleas), al producirse el movimiento relativo y la consecuente transformación de fricción estática en dinámica se incrementará la energía sonora.

Las causas neumáticas tienen su origen en el flujo de gases en movimiento. Este flujo puede presentarse en un medio turbulento y causar así desequilibrios internos que, a su vez, producen vibraciones. Estas pueden presentarse en dos lugares:

1. Dentro de la misma columna de gas en movimiento.
2. En el ducto que las contiene.

Las turbulencias en el flujo son producidas en general por:

1. Física del ducto:

1.1 Forma de la sección

1.2 Rugosidad

2. Variaciones en la geometría del ducto:

2.1 En la dirección

2.2 En la sección

2.3 En la forma

3. Acoplamiento del ducto al medio:

3.1 Diferencia de impedancias

3.2 Determinación de corrientes parásitas

Se entiende por explosión o implosión el cambio brusco de la presión del gas contenido en una cámara, hecho que causa una transformación de energía potencial en energía cinética. Es explosión, cuando la presión interior de la cámara alcanza un nivel superior a la ambiental o externa; en caso contrario, es decir, cuando la presión interna de la cámara es inferior a la externa, se denomina implosión.

Tanto en el caso de explosión como en el de implosión, el sonido se genera cuando las partículas de la frontera se ponen en movimiento debido a la aparición brusca de la fuerza de desequilibrio. Se trata, pues, de una forma de impacto gaseoso.

Análogamente a las columnas gaseosas puede considerarse a las columnas líquidas. Las vibraciones sonoras que éstas producen son llamadas causas hidráulicas.

Por la propiedad que tienen los líquidos de ser incompresibles, las columnas vibran como un todo; es decir, son verdaderos elementos de conducción del sonido. Las vibraciones deben entenderse siempre en función de su contenido, debido a alteraciones en su contenido. Estas alteraciones se manifiestan generalmente durante los regímenes turbulentos, al producirse una gran cantidad de burbujas de aire que pueden explotar y así producir vibraciones. Las turbulencias tienen el mismo carácter, tanto para las causas hidráulicas como para las neumáticas.

Al inducirse un campo magnético, debido al paso de una corriente eléctrica, se genera una vibración por desequilibrio —causa magnética— en el elemen-

to inductor (el alambre), no importa si el alambre se halla enrollado en forma de bobina o si cuelga como en las líneas de transmisión. La magnitud de la vibración guarda una relación directa con la intensidad de la corriente eléctrica, y su espectro depende de las longitudes libres de pandeo del alambre, que, puede suponerse, actúa como una cuerda vibrante.

Es claro que la mejor forma de solucionar un problema es evitarlo; en este caso, prevenir cuanto sea posible que las fuentes generen sonidos molestos y/o lesivos. Esta solución puede tener varios estadios:

1. Antes de adquirir la máquina.
2. Durante su operación.
3. Por su diseño.
4. Por sustitución de la misma.

El problema fundamental del control en la fuente radica en una decisión técnica apropiada. Esta decisión depende de factores tales como:

1. Información total sobre el proceso.
2. Información total sobre las características de la máquina.
3. Adecuación proceso-equipo.
4. Economía del proceso.
5. Financiamiento adecuado.

Por lo tanto, es necesario conocer todas las especificaciones del fabricante para una correcta operación del equipo. Estas especificaciones deben contener informaciones sobre optimización en:

Cimentación Montaje

La cimentación de una máquina se encuentra en relación con la vía de transmisión indirecta del sonido que llegará al oído, no por vibraciones de la máquina, sino por la vibración del sitio que la soporta. De acuerdo con esto, la cimentación debe ser planeada convenientemente, tanto en su estructura como en su funcionamiento.

Las vibraciones entre máquina y suelo se evitan colocando elementos resilientes que, en conjunto, forman un amortiguador para las vibraciones. La selección adecuada del material depende de la naturaleza de las vibraciones propagadas y de la capacidad resiliente del material o materiales empleados en el amortiguador.

El montaje de la máquina es factor primordial para alcanzar una operación óptima del equipo. Principia con el trazado correcto de la plantilla de cimen-

tación y termina con la colocación del último elemento de protección, sujetado correctamente por los tornillos adecuados, a la presión necesaria. Las condiciones de montaje son las reglas del juego para la actividad de una máquina. Si se cumplen se obtendrán resultados favorables; si son violadas, sobrevendrá el castigo (ruptura de piezas, deformaciones innecesarias, deficiencias, etc).

Un problema fundamental en Latinoamérica consiste en tratar de prolongar la vida útil de la máquina más allá de lo recomendable económica y técnicamente. Este problema debe resolverse mediante políticas adecuadas de financiamiento, que permitan la renovación oportuna del equipo. La operación defectuosa y el mantenimiento inadecuado causan la reducción de su vida útil. Es por esta causa importante lograr un manejo apropiado de las máquinas por medio de la capacitación de los operadores, considerando que, si bien es cierto que cuesta más retener a un trabajador calificado, su eficiencia y labor producirán superiores utilidades.

En la mayoría de los manuales sobre control del sonido existe una marcada tendencia a confundir dos conceptos; control en la fuente y control de procesos. La diferencia entre ambos no deja de ser sutil, pero se debe precisar una definición de cada uno de estos conceptos.

El control en la fuente implica una alteración más o menos importante en la fuente misma; en tanto que el control de procesos, por lo contrario, implica una serie de análisis del funcionamiento de diversas fuentes dentro de un proceso industrial.

No se alteran las fuentes, sino el proceso donde se emplean. Dicho control puede realizarse antes o después de que el producto entra en una máquina, o durante el lapso en que el producto está en ella.

Debe pensarse en un control de proceso en el caso de que la manipulación del producto produzca sonido. Se basa en el principio de la exposición directa del operador. Los elementos básicos del control del proceso son:

1. Sustitución del proceso.
2. Modificación del proceso.

El control de procesos es una ampliación del análisis operacional empleado por la Ingeniería Industrial.

Toda actividad que presenta niveles sonoros iguales o superiores a 87 dB (A), debe ser estudiada por separado, verificándose si existe alguna posibilidad de sustitución, la cual puede ser de:

1. Herramientas
2. Continente
3. Procedimiento de trabajo
4. Avance en la línea
5. Forma de depósito

La modificación de un proceso es más difícil y acarrea mayor número de complicaciones que la sustitución del mismo; en este caso, la sustitución tiene prioridad sobre la modificación.

Dadas las características de los elementos que intervienen en el fenómeno sonoro, el medio es el único que no es causa ni efecto. La posibilidad de control del medio depende de los resultados producidos por los efectos de la transmisión del sonido emitido por la fuente y por los efectos que esta produce en el receptor.

Así pues, el control de sonido en el medio puede realizarse en dos fases:

1. Tratar de evitar su propagación por medio del aislamiento.
2. Tratar de conseguir un máximo de pérdidas energéticas por absorción.

El objetivo de controlar el sonido en el receptor es evitar que el oído humano se lesione, y la persona tenga dificultades para la comunicación oral normal. Es importante señalar que esta forma de control debe realizarse cuando todos los intentos anteriores han fracasado y el individuo sigue expuesto a altos niveles sonoros.

Existen dos formas para efectuar el control en el receptor:

1. A nivel colectivo.
2. A nivel industrial

El método de protección colectiva consiste en el manejo de tiempos de exposición y niveles de energía.

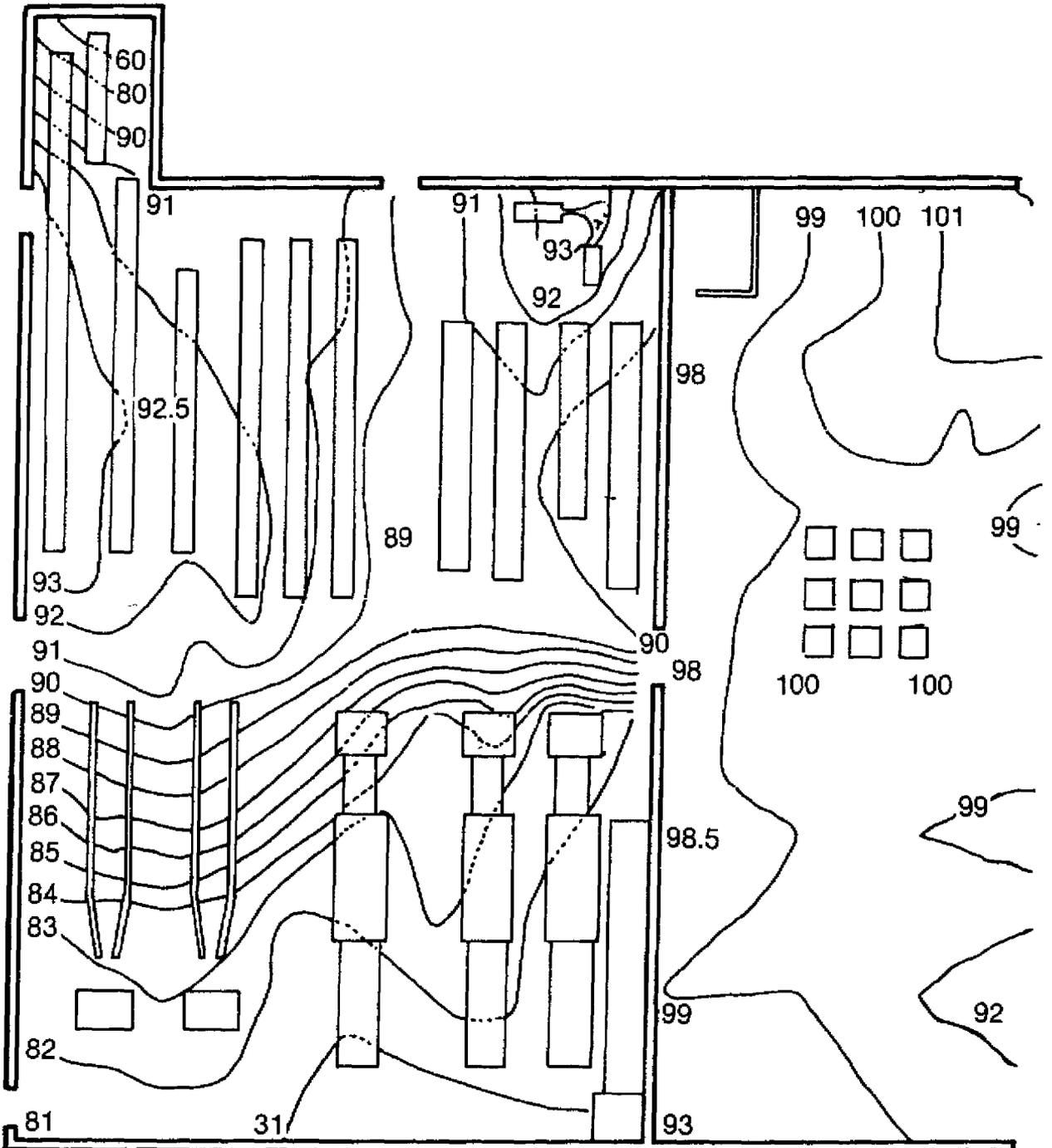
Una de las técnicas más importantes al respecto consiste en señalar las zonas en las cuales los niveles de energía sonora son elevados y modificar, consecuentemente, los tiempos de exposición de quienes laboran en esas áreas.

Es claro que si se reduce la exposición al integrar grupos de trabajadores, se modificará el número de personas expuestas por lo que es necesario establecer un control de las personas involucradas.

En la figura 12.7 se presenta la forma de elaborar estas curvas isobaras.

Figura 12.7

Figuras isobaras



Otro método muy usado actualmente en Europa consiste en hacer que los trabajadores expuestos a niveles sonoros importantes entren a cabinas insonorizadas de descanso, durante lapsos más o menos breves, con lo cual se evita la fatiga física y auditiva a que se encuentra sometido el trabajador. Este método requiere de un arreglo cuidadoso de los turnos de trabajo, de manera tal que, si el trabajador que opera una máquina debe ser sustituido por otro cuando el primero descansa, no se afecten los ritmos de producción de la empresa. Como una cabina puede servir a muchos trabajadores, deben escalonarse los descansos a fin de que aquélla no se convierta en un club de reunión, porque los trabajadores dejan de cumplir su actividad con el pretexto del descanso auditivo.

Cabe advertir que este método aún se encuentra en discusión. En efecto, el doctor Dixon W. Ward ha hecho una serie de investigaciones sobre el personal expuesto a niveles sonoros intensos, que descansan durante un cierto lapso antes de reintegrarse a la exposición, y ha demostrado que el tiempo de recuperación del DTU deber ser mayor. Este hecho indica que el grado acumulativo de lesión se acentúa por la fatiga, exposición -reposo, fenómeno denominado "fatiga de ward". Sin embargo, no se tienen aún conclusiones al respecto. En cambio, se sabe que el efecto psicológico de los reposos periódicos es magnífico y da muy buen resultado para el desempeño laboral en general.

A fin de proporcionar el equipo de protección personal adecuado, es necesario realizar los dos tipos de evaluaciones: la de nivel sonoro y la del nivel de presión acústica por banda de octava.

Para estos efectos, el nivel de presión acústica por banda de octava se corrige, se pasa a nivel sonoro y la atenuación que corresponde al equipo de protección personal (R) se da en nivel sonoro (dB(A)).

La fórmula fundamental obedece a la ecuación siguiente:

$$R = NS - 10 \log S \dots \text{ec (12.19)}$$

en donde:

R = es el nivel de reducción
NS = es el nivel sonoro medido en dB(A)
S = $\text{anti log. } [0.1(L_1 - Q_1)] \dots \text{ec (12.20)}$

del cual S es el nivel sonoro atenuado equivalente;

L_1 = es el nivel de presión acústica por banda de octava y

$$Q_i = N_i + K - 2\sigma \dots \text{ec (12.21)}$$

donde:

Q_i = es la atenuación por banda de octava

N_i = es la atenuación para cada banda de octava del EPP.

K = es la corriente para cada banda

σ = es la desviación típica del equipo protector de la audición.

Ejemplo: Después de efectuar una evaluación en el puesto de trabajo, se obtuvieron los valores siguientes:

$$NS = 94 \text{ dB(A)}$$

Frecuencia Hz	125	250	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
NPA_{50}	87	85	86	80	78		74		72
Atenuación N_i	7	6	11	21	11	12	11	10	9
Desviación típica	2.8	3.0	3.1	3.8	3.5	3.3	3.3	3.0	2.9

Aplicando la ecuación (12.21)

$$Q_{125} = 7 + 16.2 - 2(2.8) = 17.6$$

$$Q_{250} = 6 + 8.7 - 2(3.0) = 8.7$$

$$Q_{500} = 11 + 3.3 - 2(3.1) = 8.1$$

$$Q_{1000} = 21 + 0 - 2(3.8) = 13.4$$

$$Q_{2000} = 11 - 1.2 - 2(3.5) = 2.8$$

$$Q_{4000} = \left(\frac{12+11}{2}\right) - 1.0 - (3.4+3.3) = 3.8$$

$$Q_{8000} = \left(\frac{10+9}{2}\right) + 1.1 - (3.0 + 2.9) = 7.65$$

$$L_1 - Q_1$$

$$\begin{aligned} 87 - 17.6 &= 69.4 \\ 85 - 8.7 &= 76.3 \\ 86 - 8.1 &= 77.9 \\ 80 - 13.4 &= 66.4 \\ 78 - 2.8 &= 75.2 \\ 74 - 3.8 &= 70.2 \\ 72 - 7.65 &= 64.3 \end{aligned}$$

aplicando la ecuación

(12.20)

$$S = \text{anti log. } (0.1 \times 69.4) + \text{anti log. } (0.1 \times 76.3) + \\ \text{anti log. } (0.1 \times 77.9) + \text{anti log. } (0.1 \times 66.4) + \\ \text{anti log. } (0.1 \times 75.2) + \text{anti log. } (0.1 \times 70.2) + \\ \text{anti log. } (0.1 \times 64.3)$$

$$S = 8\,709\,610 + 42\,657\,840 + 61\,659\,380 + \\ 4\,365\,149 + 33\,113\,040 + 10\,471\,250 + \\ 2\,691\,529 = 163\,667\,808$$

Finalmente, aplicando la ecuación (12.19)

$$R = 94 - 10 \log. (163\,667\,808) = 94 - 10 (8.21) \\ R = 94 - 82.1 = 12.9$$

Nivel sonoro atenuado equivalente:

$$94 - 12.9 = 82.1 \text{ dB(A)}$$

Es de suma importancia mantener un control médico adecuado, que vigile la posibilidad de lesiones auditivas producto del trabajo en el personal expuesto a niveles sonoros peligrosos. A continuación indican, para este fin, tres tipos de exámenes:

1. De ingreso.
2. Periódicos, cada seis meses o cada año.
3. Final, cuando se retira el trabajador de la empresa.

El examen de ingreso debe ser exhaustivo, e incluir antecedentes patológicos de carácter laboral y general. En el campo auditivo, se debe contemplar:

1. Revisión de la membrana timpánica y del oído externo.
2. Antecedentes otopatológicos (síndromes de Konigsmark, Meniere, ototo-

- xias eventuales, etcétera).
3. Traumas craneoencefálicos.
 4. Audiometría aérea con tonos puros.
 5. Audiometría ósea con tonos puros.
 6. Eventualmente, audiometría aérea con enmascaramiento contralateral con ruido blanco.

De acuerdo con los resultados de este examen, el médico puede determinar la aptitud del candidato para exponerse o no a un ambiente sonoro severo.

La decisión médica debe ser inapelable y tener características impositoras para cualquier tipo de solicitud del aspirante.

Los exámenes médicos periódicos deben constar desde el punto de vista auditivo, por lo menos de:

1. Audiometría aérea con tonos puros.
2. Determinación del desplazamiento temporal de la audición, dos minutos después de la exposición.

Estos exámenes periódicos tienen como finalidad determinar si un trabajador es afectado por la exposición a niveles sonoros elevados; en caso de usar protectores auditivos, saber si éstos cumplen adecuadamente o no con su función. En el caso de que tales exámenes detecten anomalías o una sensibilidad acrecentada, el trabajador debe ser colocado en otro puesto.

El examen final que se efectúa al trabajador, tiene como objetivo precisar, en su caso, la responsabilidad de la empresa en cuanto a la salud del trabajador, con fines puramente legales y para evitar problemas con autoridades del trabajo, de seguridad social, etce. y deben comprender, al menos, las siguientes pruebas:

1. Examen timpánico y del oído externo.
2. Audiometría aérea con tonos puros.
3. Audiometría ósea con tonos puros.

Finalmente, es necesario hacer hincapié en que muchas veces, para solucionar un problema causado por la exposición a niveles sonoros capaces de producir perjuicio, es adecuado adoptar varios métodos de control, los cuales combinados, darán una mayor seguridad de que no se cause daño al individuo.