



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTONOMA
DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

CONTROL DE RUIDO INDUSTRIAL

T E S I S

Que para obtener el título de:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
p r e s e n t a n :
ALBERTO CORTES NAVARRETE
PEDRO JORGE VEGA ROBLES



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

PRIMERA PARTE

CAPITULO 1 CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES FISICAS DEL RUIDO

1.1	Introducción	3
1.2	El control del ruido	4
1.3	El sonido	5
1.4	El decibel, el nivel de potencia sonora y nivel de presión sonora.	6
1.5	Frecuencias	10
1.6	Propagación del sonido	11

CAPITULO 2 EL OIDO

2.1	Anatomía y Fisiología del oído	14
2.2	Defensas Naturales	16
2.3	Riesgos	16
2.4	Evaluación del riesgo	17
2.5	Técnicas de Muestreo	18
2.5	Audiometrías	18
2.7	Protección	19
2.8	Protectores auriculares	20
2.9	Motivación	21

CAPITULO 3 TECNICAS, MEDICION E INSTRUMENTACION

3.1	Introducción	23
3.2	Instrumentos de medición	23
3.3	Calibración	25
3.4	Métodos de medición	26
3.5	Recomendaciones para efectuar las mediciones	26

CAPITULO 4 AGENTES PRODUCTORES DE RUIDO Y CONTROL DE LAS VIBRACIONES MECANICAS

4.1	Introducción	28
4.2	Teoría básica de las vibraciones	29
4.3	Medición de las vibraciones mecánicas	32
4.4	Control de las vibraciones	33

CAPITULO 5 RESPUESTA ACUSTICA DE LOS MATERIALES Y ELEMENTOS ARQUITECTONICOS

5.1	Introducción	38
5.2	Clasificación de los materiales absorbentes	38
5.3	Métodos para determinar los coeficientes de absorción sonora	40
5.4	Aplicación de los materiales absorbentes acústicos	40
5.5	Aislamientos del sonido	42
5.6	Materiales húmedos	43

CAPITULO 6 . AISLAMIENTOS

5.1	Antecedentes	45
5.2	Aislamientos en maquinarias	45
5.3	Aislamientos en oficinas de las líneas de producción	49
5.4	Aislamientos parciales	50
5.5	Materiales aislantes	52

CAPITULO 7 MARCO LEGAL DEL RUIDO

7.1	Antecedentes	54
7.2	Reglamento contra el ruido para el Distrito y Territorios Federales	57
7.3	Norma para el ruido ocupacional	59
7.4	Exposición a diferentes niveles de ruido	59

CAPITULO 8 INVESTIGACION SOBRE HIPOACUSIAS OCUPACIONALES

8.1	Antecedentes	62
8.2	Los empresarios	62
8.3	El estudio	63
8.4	Resultado de la investigación	65

CAPITULO 9 RESULTADOS DE LAS INVESTIGACIONES Y PRACTICAS DE MEDICIONES EFECTUADAS EN LOS HANGARES DE MANTENIMIENTO DE AEROMEXICO.

9.1	Introducción	71
-----	--------------------	----

CAPITULO 10 GUIA PARA LA CONSERVACION DE LA AUDICION EN MEDIO RUIDOSO

10.1	Información básica acerca de la pérdida auditiva y la exposición al ruido	77
10.2	Indicadores de la necesidad de un programa para la conservación de la audición	77
10.3	Esquema de un programa para la conservación de la audición ..	78

CAPITULO 11 RESUMEN Y CONCLUSIONES EN EL CONTROL DE RUIDO INDUSTRIAL. 20

G L O S A R I O	63
-----------------------	----

B I B L I O G R A F I A	89
-------------------------------	----

S U M A R I O

Este es un trabajo de todo cuanto es esencial para un buen conocimiento sobre la información más relevante en materia de Acústica, así como en las normas establecidas por las diferentes dependencias que vigilan la correcta aplicación de la Ley.

Para ello se ha estructurado en lógica secuencia, desde la Física del ruido, hasta las recomendaciones factibles para establecerse en la práctica, pasando por las diferentes técnicas para abatir los problemas del ruido.

No pretende ser un tratado de Acústica, a la que apenas se asoma, pero en él se analizan y mencionan aquellos elementos mecánicos y arquitectónicos básicos, -- que deben examinarse a fondo, a fin de disipar dudas que preocupan a quienes desean encontrar formas, para eliminar este tipo de contaminación en la industria.

El texto se ha dividido en 11 capítulos independientes, pero estrechamente relacionados entre sí en cuanto a conocimiento integral que se requiere en el campo de la Acústica y la diversidad de técnicas al servicio del profesional para estudiar esta parte de la seguridad industrial.

En la primera parte se repasan conceptos fundamentales de la física del ruido, porque es imposible establecer un concepto sin conocer las leyes que gobiernan la mecánica del sonido y presentar todas las variables de respuesta en el oído humano se precisan las técnicas de medición, complementando con los cuidados y operación correcta del equipo de medición.

En la segunda parte se establecen los principios básicos que deben integrar los programas y campañas para eliminar el ruido. Mediante el análisis de los materiales que ofrece el mercado actualmente, los diferentes sistemas de aislamiento sonoro, y fundamentalmente la comprensión y aplicación teórica de las vibraciones mecánicas.

En la parte última, se analizan las experiencias recabadas en el desarrollo de este trabajo, concretando las investigaciones efectuadas en los organismos públicos de salud y presentando un grupo de las conclusiones más relevantes, que servirán de instrumento para abatir los costos por accidentes de trabajo.

CAPITULO 1

1.1 INTRODUCCION

Cualquier problema de ruido y vibraciones depende de sistemas compuestos por tres elementos básicos: la Fuente sonora, el Medio donde se transmite y el Receptor.

Para solucionar cualquier problema de ruido, deben tomarse consideraciones en los siguientes aspectos:

- a) La fuente productora del ruido debe ser conocida.
- b) Las características de la transmisión del fenómeno deben ser comprendidas.
- c) Se debe adoptar un criterio para considerar el nivel de ruido permisible o deseable en cada situación.

Estos tres elementos no necesariamente actúan independientemente, la potencia sonora que es radiada depende del medio ambiente que rodea a la fuente; por ejemplo, una máquina puede radiar más sonido si es colocada en la esquina de un cuarto; una voz aumenta o disminuye su intensidad dependiendo del tamaño, forma y características de reverberación de un cuarto en el que esté hablando la persona.

La forma en que se transmite el sonido puede ser afectada por detalles acústicos de la fuente y del escucha; así tenemos que la fuente sonora puede estar en movimiento, puede ser intermitente, etc.; por otro lado, el receptor puede estar sujeto a diferentes ocupaciones, su estado anímico puede ser muy variable, etc.

De tal forma que la actitud de las personas hacia el ruido puede ser influenciada no sólo por la naturaleza del sonido y sus características de propagación, sino que la percepción del ruido está sujeta a las más variables condiciones de subjetividad. Todas estas consideraciones enfatizan que cada problema de ruido es relacionado con un sistema de interacciones de los elementos que anteriormente citamos.

1.2 EL CONTROL DE RUIDO

El control de ruido no solamente se puede referir a reducir el sonido indeseable, por ejemplo: en una oficina moderna de diseño abierto sin divisiones aislantes, el ruido de fondo puede ser aumentado cuidadosamente controlando las cualidades tonales, con objeto de enmascarar o encubrir los sonidos indeseables producidos por los ocupantes con sus máquinas o calculadoras; los elevadores; el ruido del tránsito, etc., así la molestia causada por el ruido natural puede ser reducida añadiendo más ruido.

La solución de un problema de control de ruido involucra generalmente multitud de aspectos. El costo de la protección de oído de cada trabajador de una planta puede llegar a ser prohibitivo, de tal forma que el riesgo de daño podría ser aceptado por algunos trabajadores; la solución podría consistir en una combinación de medidas de reducción de ruido, la institución de un programa de pruebas audiológicas para seleccionar aquellos trabajadores que tuvieran oídos sensibles, los que deberían ser transferidos a otras labores y un plan para compensar a los pocos restantes que sufrieran alguna pérdida auditiva.

El control de Ruido en la Fuente.- Una fuente sonora es creada por el movimiento de un sólido, un líquido o un gas. Una fuente sólida puede ser reducida si su forma de operación es cambiada, de tal forma que su movimiento se reduzca también; - por ejemplo, al reducir las fuerzas que producen el movimiento, ya sea rigidizando, dejando libres o aislando total o parcialmente la estructura.

Las fuentes sonoras en líquidos y gases pueden ser reducidas eliminando las turbulencias, reduciendo la velocidad del flujo, suavizándolo o atenuando las pulsaciones de la presión. El control de ruido en la fuente, planeado durante la etapa de diseño del producto, es usualmente la medida más eficaz y menos costosa para óptimo funcionamiento.

El Control de Ruido en su Medio de Propagación.- Muchas de las medidas correctivas para un problema de control de ruido consisten en modificar la forma de transmisión de sonido en el medio. En esta parte están incluidos el control del ruido al aire libre, en los recintos, a través de las estructuras y en los ductos. Las posibles soluciones podrían ser barreras, materiales porosos, cambiar las relaciones entre las máquinas, silenciadores, aislamientos de vibraciones, etc.

Las necesidades del Escucha.- El nivel al cual un ruido debe ser reducido para ser aceptable por el oído humano algunas veces requiere de juicio, tanto del usuario o consultor, como del propietario del edificio o la máquina. Un criterio para un buen control del ruido para los receptores depende de lo que se desee lograr: conservar el oído, crear un ambiente propicio para la conversación o proveer comodidad en el hogar, en el trabajo o en los vehículos de transportación. Los primeros dos aspectos que anteriormente señalamos están evaluados ya en una forma bastante aceptable, pero la comodidad puede depender de actitudes mentales que pueden ser muy variables o incluso cambiar repentinamente.

1.3 EL SONIDO

¿Qué es el sonido? Es la sensación que se percibe por medio del oído. Cuando se golpea un cuerpo sonoro experimentan en seguida sus moléculas un movimiento de ondulación o vibración. El aire que rodea ese cuerpo participa de dicho movimiento y forma en torno suyo ondas que no tardan en llegar al oído. El aire es pues, el principal vehículo del sonido, que se propaga a una velocidad de 340 m/seg. Los líquidos lo transmiten con mayor rapidez; la velocidad dentro del agua es 1425 m/seg. La velocidad es aún mayor en los sólidos. El sonido no se transmite en el vacío y aumenta o disminuye su intensidad con la densidad de la atmósfera. Cuando las ondas sonoras tropiezan con un obstáculo fijo se refleja normalmente y produce el llamado eco.

Ruido.- El ruido es un conjunto de sonidos diversos sin ninguna armonía, sonido más o menos fuerte o inarticulado.

Antes de establecer las unidades en que se mide el sonido, es necesario conocer como responde nuestro oído. El oído humano es un órgano muy sensible, con cualidades que le permiten distinguir la intensidad y la frecuencia del sonido, aparte de estas dos características podemos determinar qué instrumento es el que está produciendo un sonido, o sea el timbre y también podemos distinguir de dónde viene el sonido, porque tenemos dos canales (oídos) que nos permiten saber la dirección de donde proviene. Además de esto, discrimina ruidos indeseables fijando nuestra atención en lo que deseamos. A medida que se va afectando el oído con

las altas intensidades de sonido a que estamos sujetos en nuestras ciudades, va perdiendo estas características y en estudios que se han hecho se ha encontrado que un gran porcentaje de los habitantes de las grandes ciudades se encuentran afectados. Se ha comprobado que personas que duermen cercanas a una calle residencial tranquila, cambian su presión sanguínea y segregan jugos gástricos con el ruido que produce un automóvil normal que circula sin despertarlas, y esto supone que puede favorecer a la creación de úlceras, infartos y demás malestares.

Para evaluar el sonido es necesario establecer en primer lugar: la intensidad, que es la unidad que nos va a dar la medida física en watt/m^2 . En esta dimensión la máxima intensidad que el oído puede aceptar es de 10 watts/m^2 y el mínimo para escuchar es de $10^{-12} \text{ watt/m}^2$ que también lo podemos llamar el umbral de percepción auditiva (estos datos son en la frecuencia de 1000 Hz y a nivel del mar). Además de la intensidad, tenemos otra de las dimensiones del sonido: la frecuencia, que depende del número de oscilaciones entre la unidad de tiempo, -- que tenga una vibración, así tenemos que un sonido puede ser bajo o alto dependiendo de su tono (como un contrabajo y un violín); el oído humano está capacitado para captar sonidos desde 16Hz (ciclos/segundo) hasta 18 000Hz(ciclos/seg) aproximadamente.

1.4 EL DECIBEL, EL NIVEL DE POTENCIA SONORA Y EL NIVEL DE PRESION SONORA

El Decibel.- Para explicar esta unidad, comenzaremos con un poco de historia. - El primer científico que investigó acerca de la proporción de las sensaciones -- con respecto a los estímulos fue Gustavo Teodoro Fechner (1801-1887), que haciendo experimentos sobre las sensaciones humanas, llegó a la conclusión que nosotros sentimos en proporción logarítmica; así tenemos que si nosotros escuchamos un piano, para sentir el doble de la intensidad necesitaremos 10 pianos, aunque la intensidad sonora físicamente siga proporciones directas. Esta cualidad es la que nos permite ver un partido de fútbol y escuchar un "gol" coreado por 100 000 personas y que no se nos rompa el oído. La capacidad del oído es fantástica, se puede adaptar a sonidos muy débiles, por ejemplo el reloj en la noche o ruidos -- tan intensos como un avión.

El decibel es una expresión de cantidad que encuentra su más amplio uso en en la Acústica y la vibración. El decibel está basado en la ley de Weber-Fechner

como ya lo habíamos apuntado anteriormente, que define la sensación causada por un determinado estímulo y en la que la sensación se cuantifica según se indica - en la siguiente ecuación:

$$\text{SENSACION} = 10 \log \text{ ESTIMULO}$$

Esto, aplicado a la Acústica tiene una gran utilidad, como ya habíamos citado, la gama de presiones va aproximadamente desde 2×10^{-5} New/m o 2×10^{-4} dinas/cm² hasta 2×10^3 New/m o 2×10^2 dinas/cm², es claro que una escala lineal sería de una gran amplitud y por esto se ha adoptado la escala de decibeles que se define como:

$$\text{DECIBELES} = 10 \log \frac{X}{X_0}$$

Donde usualmente X es la cantidad medida, que tiene dimensiones de potencia y X₀ es la cantidad de referencia en las mismas unidades, podríamos decir que -- por convención internacional esta cantidad es el umbral de percepción sonora en el oído humano y es la siguiente en las diferentes unidades usuales en Acústica:

$$\begin{aligned}
\text{POTENCIA SONORA} &= 10^{-12} \text{ watts} \\
\text{INTENSIDAD SONORA} &= 10^{-12} \text{ watts/m}^2 \\
\text{PRESION SONORA} &= 2 \times 10^{-5} \text{ New/m}^2 \quad \text{ó} \quad 2.10^{-4} \text{ } \mu\text{Bar} \quad \text{ó} \\
&\quad 2 \times 10^{-4} \text{ dina/cm}
\end{aligned}$$

En consecuencia, los términos comunmente usados para nivel de potencia sonora (PWL), Nivel de intensidad sonora (IL), y Nivel de presión sonora (SPL), relacionados con los umbrales de percepción nos dan los Decibeles.

La definición práctica de Nivel de Potencia Sonora y Nivel de Intensidad sonora son las siguientes:

$$\begin{aligned}
\text{Nivel de Potencia Sonora PWL} &= \log \frac{W}{10^{-12}} \text{ dB re } 10^{-12} \text{ watt/m}^2 \\
\text{Nivel de Intensidad Sonora IL} &= 10 \log \frac{I}{10^{-12}} \text{ dB re } 10^{-12} \text{ watt/m}^2
\end{aligned}$$

Donde re es la referencia, W es la potencia medida en watts e I es la intensidad medida en watt/m²

Para el nivel de presión sonora SPL es necesario conservar la relación de - las cantidades proporcionales a la potencia acústica, por lo que se trabaja con

las presiones elevadas al cuadrado. La definición práctica de la presión sonora

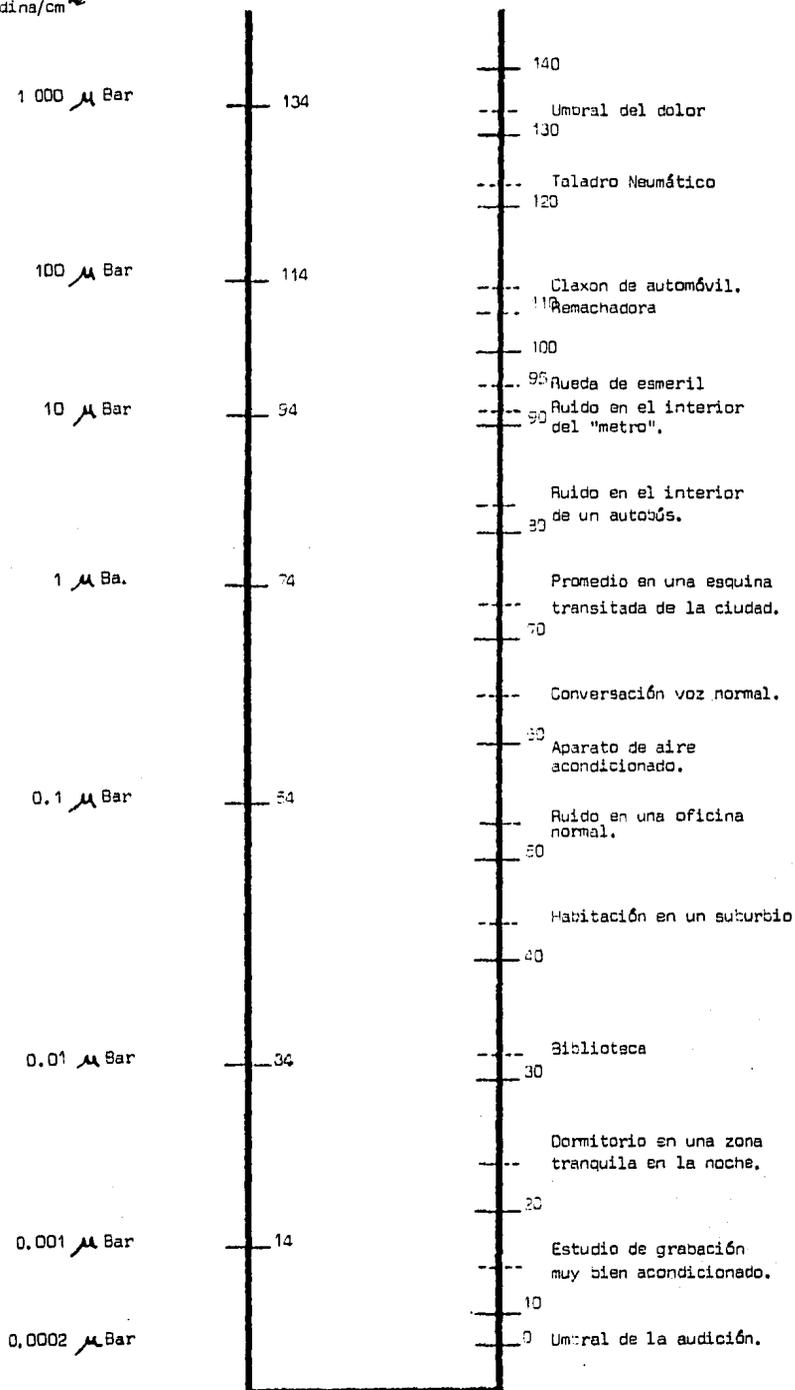
es:

$$\text{Nivel Presión Sonora SPL} = 10 \log \left(\frac{P}{2 \times 10^{-5}} \right)^2 \quad \text{ó}$$

$$\text{SPL} = 20 \log \frac{P}{2 \times 10^{-5}} \quad \text{dB re } 2 \times 10^{-5} \text{ New/m}^2$$

Donde P es la presión medida en Newton/metro²; en la Figura 1.1 podemos observar la correspondencia de algunos niveles sonoros con estas unidades.

Presión de Sonido en
 μ Bar (microbar), o
 dina/cm^2



Nótese que es de suma importancia establecer la referencia para delimitar los parámetros de las mediciones, puesto que el decibel es solamente una expresión de la relación entre dos cantidades. En la selección de esa referencia, la relación entre las tres unidades anteriormente mencionadas, fueron seleccionadas con el propósito definido de proveer una conveniente interrelación de los tres niveles. La base fue la presión del sonido 2×10^{-5} Newton/metro², la cual es aproximadamente la presión del sonido en la frecuencia de 1000 ciclos/seg. que puede ser captada por un hombre joven con oído saludable. La intensidad de referencia fue seleccionada de tal forma que la intensidad de sonido (IL) y la Presión del sonido (SPL) fueran casi iguales numéricamente para ondas planas y esféricas, a una temperatura media al nivel del mar; en estas condiciones podemos expresar la siguiente relación:

$$\text{SPL} = \text{IL} + 0.2 \text{ dB (re } 2 \times 10^{-5} \text{ New/m}^2\text{)}$$

El nivel de Potencia (PWL) se escogió de tal forma que fuera conveniente relacionarlo con el nivel de Presión Sonora (SPL), cuando el área de la superficie sobre la cual la potencia fuera radiada en el punto de medición, expresado en m², a temperatura media a nivel del mar, es la siguiente relación:

$$\text{SPL} = \text{PWL} - 10 \log \frac{S}{S_0} + 0.2 \text{ dB (re } 2 \times 10^{-5} \text{ New/m}^2\text{)}$$

Donde S es la superficie total del frente de onda en m² y S₀ es 1 metro².

Hay casos en los cuales es necesario sumar o restar niveles de sonido expresados en decibeles, por supuesto esto no es posible efectuarlo algebraicamente, debido a que es una escala logarítmica. Los niveles deben ser convertidos a su unidad inicial de energía, y el procedimiento para hacer esto es a través de las fórmulas de Potencia sonora e Intensidad sonora que anteriormente se citaron; ya en estas unidades se sumarán algebraicamente los niveles y más tarde se convertirá el resultado a niveles en la escala de los decibeles.

1.5 FRECUENCIAS

Frecuencias Audibles y Concepto de Bandas de Frecuencias.- La gama de frecuencias audibles abarca como ya anteriormente se dijo, de 16 a 20 000 Hz (ciclos/seg.) aproximadamente, pero nuestro oído no escucha con la misma intensidad con respecto

a bajas y altas frecuencias, es decir que un contrabajo tendrá que tocar con más intensidad para que tengamos la misma sensación que nos produce un violín, o bien podemos decir que un sonido que pudiéramos escuchar a muy baja intensidad a 1000 Hz no lo podríamos escuchar en bajas y en muy altas frecuencias. También nos hemos percatado que las frecuencias en que nuestro oído escucha con mayor intensidad es aproximadamente de 300 a 6000 Hz. Así tenemos que el umbral de percepción auditiva en 1000 Hz es aproximadamente 0 dB re $2 \times 10^{-5} \text{ New/m}^2(1)$, en cambio en 100 Hz el umbral de percepción estará en + 25 dB.

Si el número de tonos puros están combinados dentro de un sonido complejo, no solamente la sonoridad y el tono determinan la percepción del sonido en el humano, sino que hay un tercer factor, el timbre que entra en escena. El timbre depende del contenido de armónicas de un sonido y su comportamiento transitorio. Muchos trabajos de investigación han sido desarrollados para poder medir y calcular el efecto del sonido. De tal modo que se pueda tomar en consideración durante las mediciones, las investigaciones nos enseñan la existencia de ciertas bandas críticas de frecuencia y también que la relación existente entre esas bandas y la forma como responde el oído humano es de suma importancia. Dadas las necesidades de análisis en la investigación acústica surgieron los filtros, primero basados en las experiencias de la escala musical, se dividieron en bandas de octava, en las que se duplica la frecuencia en cada banda; es decir suponiendo que el DO 4º del piano produce 512 Hz, el DO 5º producirá 1024 Hz.

Conforme ha avanzado la investigación Acústica se han requerido instrumentos que permitan una evaluación más exacta, por lo que surgieron los filtros de 1/3 de octava, 1/10 de octava y los de banda delgada.

1.6 PROPAGACION DEL SONIDO

Las ondas sonoras y las variaciones de presión son producidas como un resultado de una perturbación mecánica en un medio elástico. La producción, propagación y detección de las ondas sonoras es generalmente relacionada con una oscilación, la forma más simple de oscilación que existe es el movimiento armónico simple, y cuando las variaciones de presión en esta forma son producidas, el sonido resultante es nombrado tono puro, porque las variaciones de presión ocurren en una frecuencia

1. re = referente en.

solamente. La propagación de las ondas sonoras puede ser considerada en ondas planas o esféricas. Cuando la fuente sonora está en un punto cercano al escucha y sin elementos que reflejen la energía, las ondas sonoras se pueden considerar esféricas; pero a grandes distancias, donde la curvatura de la onda frontal sea pequeña puede considerarse como una onda plana.

Si nosotros consideramos una vibración armónica simple tal como una superficie plana vibrando en el aire o en cualquier otro medio aparentemente; dicho movimiento de la superficie causa pequeñas variaciones de la presión local cercana a la superficie. Ello podrá ser transmitido a través de un medio o una velocidad — particular de propagación, como si fueran pequeñas ondas en la superficie tranquila del agua, en las cuales la velocidad es proporcional a la densidad y elasticidad del medio.

Podemos establecer también que la velocidad de propagación es igual a la longitud de onda entre el tiempo o bien la velocidad es igual a la frecuencia por la longitud de onda, donde el período es medido en segundos, la frecuencia en Hertz.

La fuerza de la presión de la onda sonora puede ser medida por las fluctuaciones locales de la presión sobre la presión atmosférica ambiente.

Esta variación de presión es extremadamente pequeña, proporcionalmente a la presión atmosférica y la unidad más comúnmente usada para estas mediciones es el Newton/metro², que es aproximadamente 10^{-5} atmósferas.

Así podemos decir que una onda plana y una onda esférica son similares en sus conceptos, y la única diferencia que se observa es que el área se alarga al ser divergente, y la energía de la fuente sonora se distribuye esféricamente en ondas progresivas.

A través de estos razonamientos llegamos al planteamiento de los conceptos de intensidad sonora, que es el promedio de la potencia acústica entre la unidad de área. Podemos pensar que si una bocina de un automóvil sonara a una corta distancia de nosotros nos causará molestia, en cambio si la distancia entre la bocina y nosotros es grande, escasamente la escucharemos. De lo cual podemos deducir que la Intensidad sonora está en función de la Potencia acústica y es proporcional al cuadrado de la distancia de la fuente al escucha (en ausencia de reflejos sonoros).

Los sonidos resultantes de vibraciones senoidales nos dan tonos puros, pero la gran mayoría de los comunes son más complejos, teniendo varios componentes y usualmente varias de las frecuencias de la gama audible. Por ejemplo, cuando un instrumento musical produce una nota, una frecuencia fundamental predomina sobre otras que están presentes y que son armónicas del fundamental y que son las que dan el timbre al sonido del instrumento. Para el análisis de estos sonidos que tienen varios componentes de frecuencia se pueden medir a través del espectro — del sonido que es lo más comúnmente usado.

C A P I T U L O 2

EL OIDO

2.1 ANATOMIA Y FISILOGIA DEL OIDO

El aparato llamado oído consiste en tres secciones distintas:

- a) Oído externo (pabellón de la oreja y canal auditivo externo), que recibe y canalizan las ondas sonoras hacia el tímpano que se encuentra al final del canal.
- b) La cámara de aire del oído medio, donde la vibración del tímpano se transmite por una cadena mecánica de huesecillos a la tercera sección del oído; los tres huesos se conocen colectivamente como osículos y se paradamente como martillo, yunque y estribo; el martillo hecho vibrar por el tímpano, a su vez moviliza el yunque éste hace mover al estribo que actúa como pistón sobre el líquido del oído interno.
- c) El oído interno contiene la cóclea, el líquido de ese órgano es puesto en movimiento por las vibraciones mecánicas de los huesecillos y el sistema nervioso convierte las vibraciones del líquido en impulsos nerviosos que son llevados al cerebro.

En suma: las ondas en movimiento en el aire producen vibraciones simpáticas del tímpano; esta vibración mecánica la transmiten los tres huesos del oído medio de la cámara del oído interno que está llena de líquido.

En el proceso, las vibraciones relativamente largas, pero débiles del tímpano se convierten en vibraciones mucho menores, pero más fuertes, y finalmente aumentan aún más de intensidad con las vibraciones del líquido; el movimiento de este es percibido por los nervios de la cóclea que transmite mensajes neurales al cerebro.

En la figura 2.1 se muestra el esquema interno del oído.

Oído Interno.- La porción del oído interno en que debemos estar más interesados es la cóclea; ésta es el túnel en espiral parecido a un pequeño caracol. Dentro del túnel hay tres canales llenos del líquido, en el canal central las fibras nerviosas del nervio auditivo terminan en células ciliares de las que se proyectan finísimas fibras dentro del líquido de la cóclea. Hay más o menos 20 000 células ciliares en filas cuádruples a lo largo de la cóclea y cada célula está coronada por unos 20 cilios sensoriales, estos 400 000 sensores y sus células de apoyo son los

elementos esenciales para la percepción del sonido.

Estas delicadas proyecciones puestas en acción por las ondas sonoras estimulan las fibras del nervio auditivo para darnos lo que conocemos como audición.

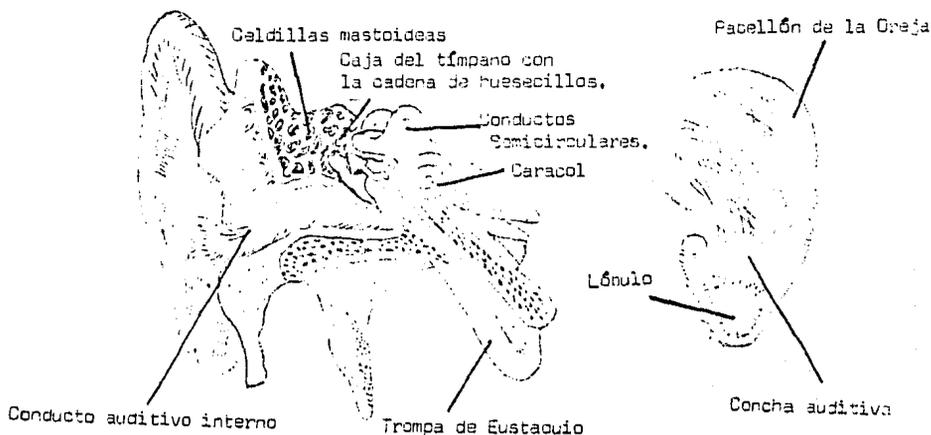


FIGURA 2.1. ANATOMIA DEL OIDO.

El líquido del oído interno también puede ser puesto en movimiento por las vibraciones que se transmiten por los huesos del cráneo, pero necesitan ser de gran intensidad; no se comprende perfectamente la forma en que el aparato sensorial establece la diferencia entre las distintas cualidades del sonido, tono, intensidad, etc.; sin embargo, se sabe lo bastante como para dar una idea del proceso.

La intensidad, potencia del sonido, indudablemente es una función de la intensidad del movimiento en el líquido coclear.

Todavía está sujeto a diferentes puntos de vista el modo como las fibras sensoriales distinguen el tono. Aparentemente reaccionan a los sonidos de mayor tono (hasta 20 000 ciclos por segundo), los del Apex o el final de la espiral, corresponden a los tonos bajos (menos de 20 ciclos por segundo).

En otras palabras, existe una parte específica en las hileras ciliares donde es mayor la sensibilidad a un tono dado y solamente las fibras nerviosas en esta área están afectadas por un tono puro de esas características.

2.2 DEFENSAS NATURALES

2.2 DEFENSAS NATURALES

Las defensas naturales del oído sirven principalmente para protegerlo contra una lesión traumática y en el canal auditivo externo los pelos y la secreción de cerumen sirve para desalojar pequeños objetos extraños; el canal mismo está curvado, reduciendo la posibilidad de que penetre un objeto y pueda lesionar el tímpano.

El tímpano y uno de los tres huesitos están dotados de músculos contráctiles que reaccionan al ruido intenso apajando efectivamente la cantidad que se transmite al delicado oído interno.

En virtud de que tanto el canal auditivo externo como el oído medio están llenos de aire las diferencias de presión tienden a desviar el tímpano que los separa, para acomodarse a los cambios de presión (como el cambio rápido de altura) y evitar que se rompa el tímpano, el oído medio posee una válvula de seguridad: la trompa de Eustaquio que comunica al oído interno con el paladar.

La trompa normalmente está suficientemente abierta para igualar la presión en el oído medio al menor cambio atmosférico, pero en muchos individuos es necesario un esfuerzo consciente para abrir dicho pasaje.

2.3 RIESGOS

Aunque el oído humano está sujeto a un gran número de desórdenes que puedan causar la pérdida de la agudeza auditiva, el mayor riesgo ocupacional es el sonido mismo, o más bien el excesivo sonido indeseable (ruido). Sin embargo se debe estar alerta de las causas de pérdida auditiva no relacionada con el trabajo, ya que casi el 25% de los obreros recientemente empleados llegan con cierto grado de sordera.

Las sorderas no producidas por ruido pueden deberse a:

1. Bloqueo de los canales auditivos (con cera excesiva), cuerpos extraños.
2. Lesión traumática, como golpes del tímpano, o desplazamientos de los huesitos.
3. Lesión por enfermedad infantil (varicelas), infecciones del oído interno enfermedades degenerativas, tumores, etc.
4. Lesiones hereditarias o prenatales.
5. Lesiones por drogas, estreptomocina, quinina.
6. Presbiacusia, sensibilidad auditiva, reducción natural debida al envejecimiento.

2.4 EVALUACION DEL RIESGO

Puesto que el interés industrial de la pérdida auditiva es todavía joven, (es el área más reciente de incapacidad ocupacional en las leyes de compensación del IMSS), el criterio del riesgo está definido con menos claridad que por ejemplo -- los niveles de toxicidad de la exposición a radiación.

Desde que el problema se identificó en 1940, se han propuesto distintos criterios; todavía hay discrepancias sobre cuál debe usarse. El área oscura se encuentra entre 80 y 95 decibeles en las octavas de banda crítica (frecuencias del lenguaje), de la información actual, parece que por debajo de 80 decibeles aún la exposición continua a niveles superiores a 95 decibeles causará incapacidad auditiva.

Son mínimos los riesgos a exposiciones de 85 decibeles; si esta guía se corre a 90 decibeles en las octavas de banda críticas, se protegerá casi el 90% de las personas expuestas, si se corre a 95 decibeles, se protegerá solamente del 80 al 85% de las personas expuestas al ruido. Esto se debe a diferencias en la susceptibilidad.

Algunas industrias han intentado controlar el ruido o proporcionar protección personal para reducir todas las exposiciones a 80 decibeles; otros han elegido programáticamente niveles tan altos como 90 decibeles.

El uso de distintos criterios, cualquiera que se elija, requiere un cuidadoso muestreo e interpretación de los datos: ¿qué frecuencias constituyen el ruido? -- ¿cuál es el nivel de presión del sonido de las distintas frecuencias? ¿el ruido es continuo, intermitente o variable? ¿la energía del sonido se concentra en bandas de frecuencia estrechas (más peligrosas) o se extiende a las bandas anchas? -- ¿los obreros tienen períodos de descanso de la exposición? ¿cuál es la tolerancia individual de los obreros expuestos? ¿qué grado de pérdida auditiva, si la hay, tenía el obrero expuesto?

Para hacer estas determinaciones se necesitan dos tipos de equipo de muestreo:

1. Sonómetro y analizador para identificar la exposición.
2. Instrumentos audiométricos para hacer pruebas antes y periódicamente durante la exposición para determinar el efecto de las exposiciones (y medidas protectoras) en los trabajadores.

2.5 TECNICAS DE MUESTREO

Generalidades.- Con la expansión de la mecanización en la Industria, muchas exposiciones potencialmente peligrosas al ruido se pueden agregar a las que han estado presentes por mucho tiempo. Como una guía a los problemas potenciales del ruido, - cualquier situación ruidosa que impida la comunicación hablada a corta distancia - puede producir pérdida auditiva si el individuo se expone por largos períodos. Debe investigarse cualquier situación ruidosa con un sonómetro y un analizador de octas de banda. Se debe dar atención particular al período de exposición. Muchas - de las operaciones ruidosas pueden ser de naturaleza intermitente.

Si no se mide la intensidad del ruido es imposible decir si una operación particular o máquina producirá una exposición peligrosa (excepto para un pequeño grupo de productores de ruido muy intenso como los motores jet y cohetes).

2.6 AUDIOMETRIA

Una de las mayores dificultades para establecer programas de protección auditiva es que no hay efectos tangibles inmediatos de las medidas de control. El equipo de protección no mejora su función por usarlo o dejar de hacerlo como lo es con otros aparatos protectores como los cascos, gafas y ropa.

De manera que para evaluar los programas de protección auditiva, es necesario una continua revisión de la capacidad auditiva del trabajador; esto se llama prueba audiométrica.

Los exámenes del oído tienen un gran número de ventajas además de servir como la única medida de conservación del oído; pueden ser muy útiles en las relaciones de los obreros, puesto que éstos frecuentemente identifican los problemas auditivos corregibles, no ocupacionales y, por supuesto, el registro audiométrico cuando incluye una prueba de admisión es una defensa contra falsas demandas de compensación.

El equipo de prueba audiométrica se debe usar cajo supervisión médica; consiste de un audiómetro (instrumento que produce tonos puros a diferentes frecuencias que se pueden aumentar gradualmente desde acajo del umbral auditivo hasta que la persona pueda oírlos) y el ambiente de prueba que debe ser suficientemente silencioso para que no enmascare los sonidos que se envían.

Los audiómetros pueden ser manuales, en que el operador mueve una perilla para aumentar el nivel del sonido, o automáticos. El ambiente acústico puede construirse especialmente en áreas protegidas del ruido, una cabina prefabricada en que solamente se acomoda el sujeto de prueba, o simplemente un cuarto muy quieto.

El resultado de la prueba es el audiograma, una gráfica que muestra la pérdida auditiva del sujeto de prueba desde la base normal como función de frecuencia. Las frecuencias que generalmente se utilizan en la audiometría industrial son: 500, 1000, 2000, 4000 y 6000 ciclos por segundo.

La principal desventaja de la audiometría es que es subjetiva, el sujeto de prueba está instruido para señalar el punto donde puede oír un sonido aumentado gradualmente. Con los audiómetros manuales, la técnica del operador puede afectar los resultados de la prueba.

2.7 PROTECCION

Cuando el estudio del nivel de ruido demuestra exposiciones por arriba del nivel de riesgo de daño, la exposición se puede reducir por:

1. Control ambiental.

- a) Reducción de la cantidad de ruido producido en la fuente.
- b) Reduciendo la cantidad de ruido que se transmite por el aire y estructuras de edificios.
- c) Revisando los procesos de operación.

2. Protección personal.

- a) Tapones auriculares.
- b) Orejeras (conchas auriculares).

El método de control ambiental más satisfactorio es el control del ruido en su origen; desgraciadamente, esto no siempre es posible y cuando la cantidad de ruido que se produce en la fuente no se puede reducir suficientemente, puede ser necesaria una combinación de métodos de control para proteger el oído.

No se han empleado suficientemente en la industria los controles de ingeniería del ruido; pocas compañías incluyen especificaciones del nivel de ruido al adquirir nuevo equipo, sin embargo, quienes lo hacen han encontrado que el vendedor puede con frecuencia hacer máquinas más silenciosas y en muchos casos el vendedor no sabe que su equipo sea tan ruidoso.

Los productos ruidosos no sólo interesan al comprador, las doctrinas de exposición al producto se están extendiendo al ruido, y las compañías de seguros están subrojan do demandas.

Algunas veces los controles de ingeniería del ruido son bastante simples, particularmente cuando la maquinaria se puede aislar completamente, pero hay muchos casos en que son impracticables los controles para limitar el ruido a niveles de seguridad; en tales casos, se puede usar la protección del oído en forma de tapones auriculares u orejeras, sean en forma aislada o en combinación con métodos parciales de ingeniería.

2.3 PROTECTORES AURICULARES

Hubo un tiempo en que se recomendaron los atenuadores del ruido tipo orejera, de preferencia a los tapones auriculares, puesto que éstos ofrecen unos cuantos decibeles menos de protección que aquellas; pero la experiencia en programas industriales de protección auditiva han indicado que la protección excesiva puede ser el enemigo del éxito y que hay fuertes objeciones psicológicas para usar cualquier equipo de protección, que a veces una atenuación un poco menor es una buena alternativa para mejorar la comodidad y aumentar su aceptabilidad.

He aquí los principales tipos de aparatos de protección auditiva, con algunos comentarios sobre sus méritos relativos y sus usos adecuados:

- 1) Orejeras. Ofrecen la mayor atenuación. Deben ser obligatorias para exposición a intensidades altas (más de 95 decibeles). Su adaptación no es un problema, se ajustan fácilmente; cubrir todo el paravión de la oreja proporcionando protección del ruido que pudiera conducirse por los huesos del cráneo. Desventajas: algunos oídos se quejan de incomodidad, calor, cefalea; los modelos normales no se pueden usar con cascos, yelmos de soldador, etc., sin embargo, también hay modelos especiales (candados para la nuca y adaptados al casco).
- 2) Tapones auriculares. En vista de que cuando están bien adaptados los tapones son más confortables que las orejeras, se deben preferir cuando hay exposición diaria por 8 horas a niveles moderados de ruido (80-85 decibeles). Los tapones auriculares se encuentran en una gran variedad de tipos sólidos, de esponja o llenos de aire; los materiales son: hule, neopreno y plástico y todos vienen en variedad de tamaños. Desventaja: no dan suficiente atenuación para exposiciones realmente de alta intensidad, requieren la adaptación experta por el departamento médico y la inserción diaria adecuada por el trabajador para máxima comodidad y efectividad.

- 3) Tapones de materiales maleables desechables. Aunque fueron desaprovechados en el pasado, estudios recientes indican que ciertos tipos de materiales moldeables ofrecen una atenuación casi igual a la de los mejores tapones, con la ventaja de ser confortables y adaptables, además de ser bien aceptados por los obreros. Estos incluyen el algodón encerado y un nuevo producto conocido como "lana seca". El primero fue desarrollado inicialmente por una firma aérea y en la actualidad existen muchas marcas. La última fue desarrollada por una compañía automotriz de Suecia y consiste de fibras extremadamente finas. Los dos tipos son especialmente buenos para trabajadores que sienten incómodos los tapones normales. Desventajas: costo ligeramente más alto que el de los tapones normales (puesto que se desechan después de usarlos una vez) y atenuación ligeramente menor que con algunos de aquellos.

2.9 MOTIVACION

Parece haber más resistencia a usar protección auricular que cualquier otro tipo de equipo personal y las dos razones más comunes son:

- 1) Los obreros pueden no estar convencidos de que necesitan protección; la sordera es tan gradual, aún con exposiciones intensas, que no causa una impresión muy dramática.
- 2) Muchos obreros sienten incomodidad al usar los tapones auriculares.

Evidencia de esta actitud de los obreros se puede encontrar en prácticas tales como aflojar los tapones para que no se sellen contra la cabeza, quitar la parte interna del tapón y dejar solamente la parte de afuera para engañar al supervisor, y moldeo e inserción indiferente de los materiales maleables-desechables.

Se han encontrado algunas técnicas para vencer estas actitudes, e incluyen:

- 1) Familiarizar a los nuevos obreros con el programa de conservación auditiva cuando se les está instruyendo sobre instalaciones de primeros auxilios, gafas de seguridad, casco, etc. En esta forma, tenderá a ver el uso del equipo de protección auditiva como parte básica del trabajo.
- 2) El uso de audiogramas de admisión para mostrar al trabajador el estado actual de su oído. Una presentación de la menor pérdida puede ayudar a convencerlo a usar el equipo de protección.
- 3) Adaptación. Generalmente la adaptación se hace en un lugar silencioso de la enfermería u otro lugar de la planta lejos de exposiciones ruidosas. Consecuentemente, el obrero se da cuenta inmediatamente del valor protector de las orejeras, los tapones o el material maleable. La razón para hacer la adaptación en la enfermería es obvia, se necesitan demasiados tipos y medidas de tapones para encontrar la combinación adecuada para cada individuo y no son fáciles de transportar por toda la planta, pero si se pueden preparar demostraciones en las áreas de trabajo, generalmente causan una impresión fuerte y duradera.

- 4) Exámenes audiométricos de grupo que sirven no solamente para obtener audiogramas, sino también para demostrar a un grupo de trabajadores los diferentes grados de sordera. Invariablemente estas demostraciones descubren a muchas personas de edad avanzada en trabajos ruidosos que no pueden oír las señales sino hasta mucho después de los demás y puede haber alguno que no oiga la señal de 1 000 cps., lo cual dramatiza la sordera.

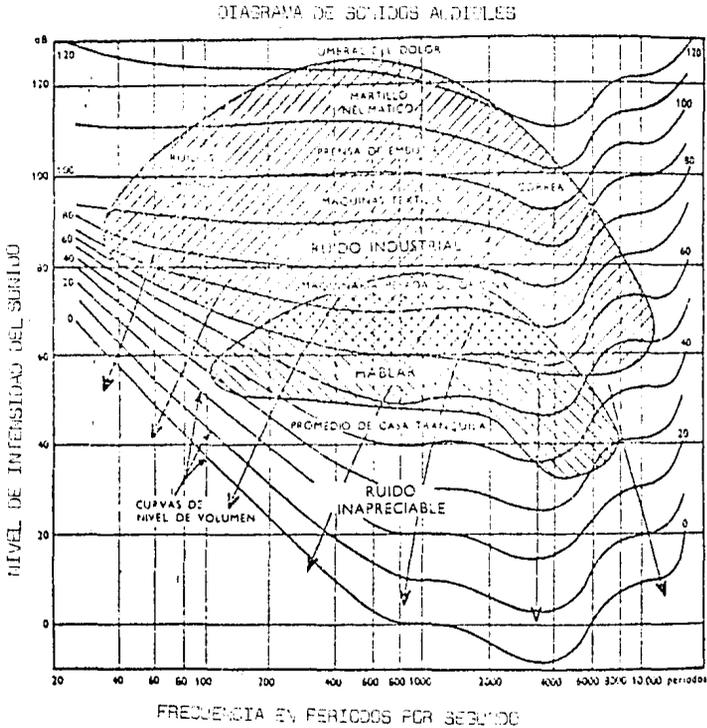


Figura 2.2 (2).

Zonas sensibles de intensidades acústicas de varias clases de ruido industrial y de la conversación. El objetivo de las investigaciones para reducir el ruido es aminorarlo en el sentido indicado por las flechas.

CAPITULO 3

TECNICAS, MEDICION E INSTRUMENTACION

3.1 INTRODUCCION

Son ejemplos representativos de condiciones interiores del ruido: las salas de las máquinas, las líneas de producción y oficinas de secretarías o cuartos — donde se localizan máquinas de oficina como son Télex, máquinas de escribir, copiadoras, etc. La acústica del ruido se presenta en éste tipo de cuartos en condiciones normales. En el ruido emitido por maquinaria pesada, el problema de medición, consiste en determinar un promedio de nivel sonoro.

Este promedio de nivel sonoro es comparado con un criterio de nivel de ruido aceptable y en base a estas comparaciones efectuar decisiones y hacer los cambios necesarios en las condiciones del medio de trabajo bajo los efectos del ruido.

La toma de decisiones sobre la medición de nivel sonoro debe efectuarse para iniciar los estudios de nivel de ruido y analizar el estudio sobre el control de ruido.

3.2 INSTRUMENTOS DE MEDICION

Todos los instrumentos básicos de medición se acoplan en un solo aparato — llamado SONOMETRO (o decibelímetro). Este aparato puede ser portátil o fijo de laboratorio. En la figura 3.1 se ilustra este instrumento.

El elemento más importante es el micrófono, pues de su funcionamiento apropiado depende la confiabilidad que se tenga para determinar las mediciones. La elección del micrófono depende esencialmente de las características del circuito interno del aparato medidor para conocer su sensibilidad del campo que se piensa medir para determinar la forma de su nariz y de su caja y finalmente del tamaño físico del campo que se desea medir para determinar su tamaño.

Cuando el aparato se usa al aire libre, el viento que incide sobre el micrófono puede modificar las mediciones realizadas; por tanto, es conveniente emplear un protector de viento que por lo general es una esfera de material plástico o de tela muy fina que se llama pantalla de viento.

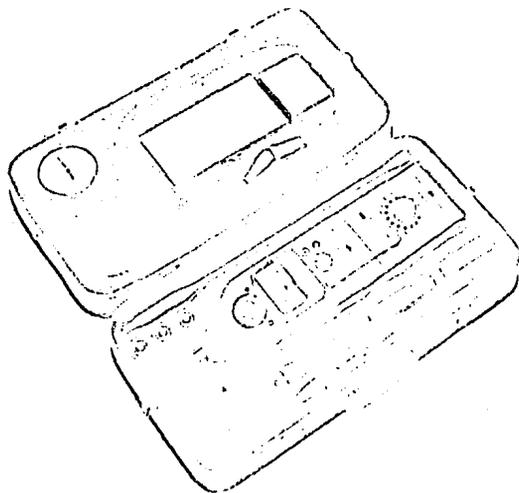


FIGURA 3.1 Sonómetro modelo KE0014, marca 3 & K (3)

Quando el sistema medidor no es portátil, el micrófono no forma parte del aparato medidor, sino que se encuentra separado. Debe entonces ser colocado firmemente sobre un pie o pedestal y debe tenerse en cuenta que el cable entre el micrófono y el aparato medidor va a producir una distorsión de la señal recibida. Para este fin debe emplearse una serie de fuentes de poder y preamplificadores que corrijan la señal recibida.

En vez de ser medida directamente la señal acústica recogida por el micrófono esta puede recogerse para ser analizada posteriormente en una cinta magnetofónica. Para ello se requiere de una grabadora de alta calidad, que generalmente no corresponde a las grabadoras comerciales domésticas. La grabadora debe reunir los siguientes requisitos:

- a) Velocidad constante y uniforme.
- b) Entrada compatible con la señal de medición.
- c) Control manual y automático.
- d) Eventual regulación de la velocidad.

Las grabadoras denominadas de "cassette" no pueden ser empleadas, ya que la velocidad de la cinta frente a la cabeza es muy baja y el ancho de la franja de grabación es muy pequeña.

La parte más delicada de la grabadora es la cabeza de grabación. Para que pueda satisfacer el requisito de que cualquier señal captada deba ser registrada en la cinta, debe poseer un ámbito de frecuencia efectivo sumamente amplio, que en general no reúnen las cabezas de las grabadoras para música.

La cinta magnetofónica a emplearse debe tener características especiales:

- a) La relación señal/ruido propio debe ser muy alta, esto se consigue en las cintas llamadas "low noise".
- b) Porcentaje de alargamiento mínimo.
- c) Que no se altere con la temperatura.

El dosificador de ruido, es un aparato que se utiliza para contar el número de pulsos sonoros que sobrepasan el valor de 85 dB, así como el tiempo y establece el valor de la intensidad máxima (nivel de ruido) máxima registrada. De esta manera se conoce la exposición de un individuo a ruidos impulsivos y determinar su magnitud.

El analizador de distribución estadística es un aparato que permite estudiar los espectros producidos por el ruido, y determinar fácilmente la frecuencia central del ruido, su desviación estándar y los valores de los niveles máximos.

3.3 CALIBRACION

Uno de los puntos más importantes de una medición es el de certificar si los valores obtenidos se ajustan a la realidad.

Para este fin se debe proceder a dos tipos de comprobaciones: una externa que verifique que los valores indicados por el medidor corresponden a las señales producidas y una interna que verifique que los pulsos eléctricos correspondan a las deflexiones de la aguja del medidor, este tipo de comprobaciones se llaman CALIBRACION.

Los calibradores externos son generadores de tono puro que producen una señal perfectamente estable y confiable. Normalmente fijan a una determinada frecuencia un determinado nivel de presión acústica. Algunos calibradores pueden ser corregidos por presión atmosférica, temperatura y humedad.

Los micrófonos deben ser calibrados constantemente. Esto se hace por el método

do de calibración recíproca, para lo cual existen aparatos definidos o bien - por otros sistemas propios de los fabricantes de equipos electrónicos.

Un buen sonómetro incluye un circuito interno de autocalibración que no necesita ser verificado más que en casos extremos cuando la confiabilidad del aparato se encuentre en duda.

3.4 METODOS DE MEDICION

Un método de medición apropiado es el que proporciona los resultados más apegados a la realidad con el mínimo esfuerzo posible.

En términos generales puede decirse que son tres los principales elementos físicos a medir, en relación al sonido:

1. Fuentes fijas.
2. Fuentes móviles.
3. Ambiente o campos determinados.

La organización Internacional de Unificación de Normas (ISO), propone métodos específicos para medir estos tres tipos de problemas.

Para medir fuentes fijas, la ISO se refiere en una de sus normas sobre las recomendaciones de prueba para la medición de ruido aéreo emitido por máquinas e eléctricas rotativas. En esta recomendación se contemplan instrucciones detalladas para realizar y reportar pruebas de ruido en máquinas de este tipo bajo condiciones estables. Está dividida en dos partes:

1. Métodos para pruebas usuales, basadas en mediciones del nivel sonoro en dB.
2. Métodos de pruebas especiales para mediciones, basadas en análisis por bandas de frecuencia.

3.5 RECOMENDACIONES PARA EFECTUAR LAS MEDICIONES.

Para presentar un trabajo de calidad se enunciarán algunas consideraciones - para efectuar correctamente las mediciones:

1. Determinar por listado algunas características más importantes del ruido a medir (ruido continuo, ruido pasajero, ruido de impacto, tonos predominantes).
2. Seleccionar el equipo de medición más apropiado al tipo de ruido.
3. Verificar el funcionamiento del equipo (baterías, nivel de calibración, correcciones en la instalación de los micrófonos).

4. Hacer un diagrama del sistema de instrumentación en base al tipo de modelo del instrumento.
5. Hacer un esquema de las características de las mediciones (orientación y - posición de los micrófonos).
6. En las mediciones de ruido anotar bajo cada registro las frecuencias. Anotar si la velocidad de registro es rápida o lenta, que se determine en cada una de las mediciones, así como las fluctuaciones de las agujas indicadoras.
7. Si las mediciones se efectuaron en recintos muy amplios o en exteriores, - se recomienda determinar y registrar viento, temperatura o humedad.
8. Diseñar el mapa de ruido considerando todas las variables antes descritas.

CAPITULO 4

AGENTES PRODUCTORES DE RUIDO Y CONTROL DE LAS VIBRACIONES MECANICAS

4.1 INTRODUCCION

Una estructura sometida a vibración ocasiona que el aire que la rodea vibre, produciendo pulsaciones de presión. Al incidir estas fluctuaciones de presión de la atmósfera en el oído, se hace vibrar a sus componentes internos creando así la sensación del sonido.

La vibración puede causar efectos nocivos en el comportamiento humano. Las vibraciones de alta amplitud y frecuencia baja tienen efectos especialmente perjudiciales sobre los órganos y los tejidos del cuerpo. Los parámetros de la vibración son frecuencia, amplitud, velocidad y aceleración.

Existen tres clases de exposición a la vibración:

1. Casos en que resultan afectadas toda o una gran parte de la superficie del cuerpo, por ejemplo: cuando un sonido de alta intensidad en el aire o en el agua induce la vibración.
2. Casos en los que las vibraciones se transmiten al cuerpo a través de un área de soporte, por ejemplo: a través de las cadenas de una persona que conduce un camión, o a través de los pies del individuo puesto de pie sobre una instalación de sacudimiento o trepidación en una fundidora.
3. Casos en los que se aplica vibración a un área localizada del cuerpo, por ejemplo, a la mano, cuando se emplea una herramienta mecanizada.

Dentro de la industria se clasifican cinco de los más importantes agentes -- productores de vibraciones y que pueden ser definidos como los cinco tipos de -- fuentes generadoras de ruido:

1. Vibración mecánica.
2. Vibración Electromagnética.
3. Fricción
4. Impacto
5. Turbulencia de fluidos.

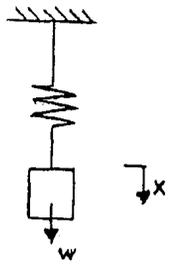
Dependiendo del proceso a tratar se puede presentar uno o más de estos tipos de fuentes, individuales o combinados, su estudio y medición son los medios que --

darán paara para determinar su control.

4.2 TEORIA BASICA DE LAS VIBRACIONES

En la dinámica se tienen tres tipos principales de vibraciones:

Vibración Armónica Libre. Es el caso más simple de un sistema vibratorio y que sólo tiene un grado de libertad (x). Ver figura 4.1. (4)



Donde x = desplazamiento de la carga oscilante medido desde la posición de equilibrio.

w = peso con libertad para vibrar en dirección vertical.

FIGURA 4.1

El periodo de vibración libre en este caso queda dado de la siguiente manera:

$$T = \frac{2\pi}{Wn} = 2\pi\sqrt{W/kg} = 2\pi\sqrt{\delta_{st}/g} \dots\dots\dots \text{Ec. 4.1}$$

Donde Wn = número de oscilaciones libres en dos segundos.

W = Peso del cuerpo.

K = Constante del resorte. (5)

g = Aceleración debida a la gravedad.

δ_{st} = Deformación estática del resorte bajo la acción de la carga W.

T = Periodo

Vibración con amortiguamiento.- En la realidad siempre hay fuerzas resistentes que producen un amortiguamiento gradual a las vibraciones originales (ver figura 4.2).

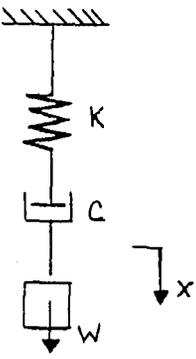
El periodo en este caso esta dado por:

$$T = 2\pi\sqrt{Wn^2 - n^2} \dots\dots\dots \text{Ec 4.2}$$

$$n = Cg/2W \dots\dots\dots \text{Ec 4.3}$$

4. Grado de libertad. Es el número mínimo de variables que se requieren especificar de manera única en una configuración.

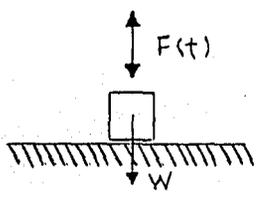
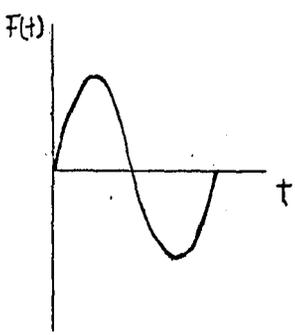
5. Constante del resorte. Es la fuerza necesaria para producir deformación de un resorte igual a la unidad.



Donde C = coeficiente de amortiguamiento.

FIGURA 4.2

Vibración forzada.- Este tipo de vibración es la más interesante para nuestro estudio del ruido. Para poder entender la teoría básica de las vibraciones, consideremos una máquina con peso W colocada sobre una superficie, en este caso el piso, (ver Figura 4.3) la máquina por su trabajo origina una fuerza periódica con componente en el eje vertical $F(t)$, que actúa sobre el piso, el cual reacciona a la $F(t)$, que actúa sobre el piso, el cual reacciona a la $F(t)$ en forma de vibración y estas a su vez producirán energía acústica (ruido).

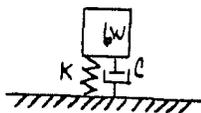


Donde W = peso del cuerpo.
 $F(t)$ = fuerza periódica.
 t = tiempo

FIGURA 4.3

Tomando el sistema anterior, pero ahora colocamos entre la máquina y el piso un resorte (ver figura 4.4), y sabiendo que existen amortiguamientos naturales, - como el aire, podemos representar en una ecuación el fenómeno físico como sigue:

$$\frac{1}{T} = f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{W/g}} \quad \dots\dots\dots \text{Ec 4.4}$$



Donde f_n = frecuencia de resonancia del sistema.

T = periodo

FIGURA 4.4

Este tipo de vibraciones constan de dos partes; vibraciones libres amortiguadas y vibraciones forzadas.

Las vibraciones libres son amortiguadas hasta anularse y sólo las forzadas son de importancia práctica.

Para controlar las vibraciones forzadas estudiaremos lo que es el factor de Transmisión del Aislamiento.

El factor de Transmisión del Aislamiento está dado por la siguiente expresión:

$$\frac{F_t}{F_m} = A = \left\{ \frac{1 + (2 f/f_n)^2}{1 - (f/f_n)^2 + (2 f/f_n)^2} \right\}^{1/2} \dots\dots\dots \text{Ec 4.5}$$

Donde A = factor de transmisión del aislante.

F_t = fuerza perturbadora periódica.

F_m = fuerza de la máquina.

f_n = frecuencia natural del sistema "No Amortiguada".

f = frecuencia de la fuerza aplicada.

ξ = Relación del coeficiente de amortiguamiento (C) y del coeficiente de amortiguamiento crítico (C_0).

$$\xi = \frac{C}{C_0} \quad \dots\dots\dots \text{Ec 4.6}$$

Podemos representar el factor de transmisión del aislante y la relación de - frecuencias f/f_n en una tabla como la de la Figura 4.5.

La gráfica presenta zonas de interés y son los siguientes:

1. Si la relación de la frecuencia de la fuerza aplicada y la frecuencia natural del sistema "No amortiguada" (f/f_n) es pequeña, el factor de - transmisión se aproxima a la unidad.
2. Cuando la relación f/f_n es un número muy grande, el factor de transmi-

sión se aproxima a cero.

3. En el punto donde f/f_n se aproxima a la unidad la fuerza de amortiguamiento (ζ) es pequeña y el factor de transmisión se hace grande. Esto quiere decir que una fuerza perturbadora $F(t)$ periódica pequeña, puede producir vibraciones forzadas siempre que está en resonancia con la vibración natural del sistema, esta es una zona por sus características resulta de las más ruidosas.
4. Otra zona importante es cuando la relación de frecuencia f/f_n es igual a $\sqrt{2}$, porque el amortiguamiento toma el valor de 1 y de igual forma ocurre con la transmisibilidad.

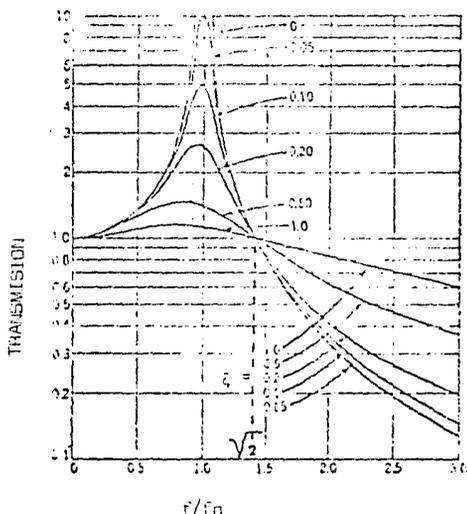


FIGURA 4.5 La transmisibilidad es una función de la relación de frecuencias representada por el factor de amortiguamiento. (ζ)

4.3 MEDICION DE LAS VIBRACIONES MECANICAS

La mayor parte de los instrumentos de la medición de estas vibraciones consiste en un peso suspendido por resortes contenidos en un bastidor, dicho bastidor se puede de tal manera que su base coincida con alguna superficie plana horizontal de tal manera que los resortes y el peso queden libres en dirección vertical para oscilar, los medidores están basados en el principio sísmico.

Supóngase que la máquina tiene un movimiento periódico consecuencia de una fuerte excitadora $F(t)$ y queremos conocer su frecuencia, lo que tenemos que ha-

cer es colocar nuestro medidor de vibraciones, entonces la masa suspendida comenzará a vibrar con la misma frecuencia, pero con una amplitud diferente (ver figura 4.6).

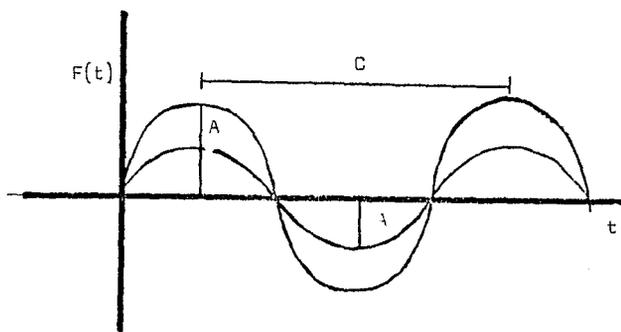


FIGURA 4.6

En la figura se observa que A representa la amplitud de onda de la máquina y a la amplitud de onda del medidor, la C representa el ciclo, como se ve el ciclo en ambos casos es el mismo, como un recordatorio diremos que un ciclo es una oscilación u onda completa y que la frecuencia es la relación del número de ciclos entre segundo (ciclos/segundo, oscilaciones/segundo, Hertz (Hz)).

La máquina trabajando genera movimientos lentos, la elongación del resorte en el medidor será mínima o nula, en caso de que las frecuencias f_n y f estén en resonancia, el movimiento relativo será grande y en este caso la masa del medidor no podrá seguirlo y estará estática en el espacio.

Existen también los medidores de frecuencia. Este tipo de instrumentos se colocan en la máquina de interés y hace la lectura de la frecuencia en un rango de - 500 a 20 000 ciclos por segundo.

Por último tenemos los vibrógrafos. Son instrumentos sísmicos que dan la información completa en la relación con el tiempo, así como frecuencia y amplitud, existen registros mecánicos y electrónicos y variantes de ellos dependiendo del fabricante.

4.4 CONTROL DE LAS VIBRACIONES

Visto lo anterior, podemos entrar al control de las vibraciones.

La primera medida a tomar es verificar el estado actual de la maquinaria, - pues la falla por mantenimiento del equipo generan más ruido de lo que se piensa generalmente un buen programa de mantenimiento podrá lograr muy importante reduc ción en el nivel sonoro del ruido.

Los aspectos de mantenimiento a los que se debe dar especial atención, son los siguientes:

- a) Fugas de vapor.
- b) Rodamientos
- c) Cajas de engranes.
- d) Bandas
- e) Balanceo
- f) Lubricación
- g) Ajustes

Cuando el ruido es generado por vibraciones en cualquier parte del equipo - debe controlarse, pues el cuarto en el que está puede actuar como una caja de re sonancia como sucede con la guitarra.

Dependiendo de la parte sometida a vibración será el medio de control a em plear y los podemos clasificar como sigue:

1. Control de las Vibraciones Mecánicas:

- a) Cuando el equipo tiene partes que pueden entrar en resonancia como son -- placas, tapas, recubrimientos, plataformas, etc., una forma de evitar esto es incrementar su masa y consecuentemente su fuerza de inercia, otro me-- dio es utilizar materiales que actúan como amortiguadores: caucho, hule, - gomas, lanas, etc.
- b) Otra manera de disminuir el ruido en un sistema como el anterior, es con-- finar o encapsular la zona, consiste en construir paredes firmes y aislan-- tes. Los aislantes acústicos se construyen utilizando dos tipos de mate-- riales; uno aislante de ruido y otro absorbente de ruido.* Este tipo de -- control se puede emplear en otros casos.
- c) El tratamiento antivibratorio se hace colocando un aislante de material e lástico. Otros materiales útiles en aislamiento de vibraciones son fil-- tros de corcho y hule;* recubiertos con un material resistente, todos es-- tos materiales se utilizan para el aislamiento de altas frecuencias. Para bajas frecuencias se recomienda la utilización de resortes de acero que - son ideales para equipos pesados, como son compresores recíprocos todo este tipo de aislamiento generalmente se coloca entre la plataforma de la máquina y el piso.

Para hacer la selección del tipo de cojinete a emplear podemos hacer refe-- rencia a la figura 4.5 y la fórmula 4.4. Cuando $\beta = 0.1$ o menos es evidente el -

* En el capítulo V se presenta mayor información sobre aislantes.

empleo de algún antivibratorio, si se requiere de mayor precisión se utilizará la siguiente ecuación:

$$f_n = 3.13 \sqrt{1/d} \dots\dots\dots \text{Ec 4.7} \quad \text{Donde } d = \text{deflexión estática del resorte en pulgadas bajo carga.}$$

Para facilitar la selección de resortes nos podemos auxiliar de la tabla -- 4.7.

Ejemplo:

Supóngase que tenemos una máquina que trabaja a 1600 rpm y queremos una vibración transmitida de 0.5%, entonces se instalará un resorte o un conjunto de resortes entre la máquina y el piso, que tengan una deflexión estática de 2.6 -- pulgadas.

De igual forma existen gráficas comerciales para la selección de los montajes elásticos. (7)

Velocidad (rpm)	% de Vibración Transmitida				
	0.5%	1.0%	2.0%	5.0%	10%
100	0.85	1.0	1.5	2.0	2.5
200	0.57	0.67	1.0	1.3	1.7
300	0.43	0.52	0.75	1.0	1.3
400	0.36	0.43	0.62	0.8	1.0
500	0.31	0.37	0.53	0.7	0.9
600	0.28	0.33	0.47	0.63	0.8
700	0.25	0.30	0.42	0.57	0.73
800	0.23	0.28	0.39	0.52	0.67
900	0.21	0.26	0.36	0.48	0.62
1000	0.2	0.25	0.34	0.45	0.58
1200	0.17	0.22	0.30	0.39	0.50
1400	0.15	0.20	0.27	0.35	0.45
1600	0.14	0.19	0.25	0.32	0.42
1800	0.13	0.18	0.24	0.30	0.39
2000	0.12	0.17	0.22	0.28	0.36
2500	0.1	0.14	0.19	0.24	0.31
3000	0.085	0.11	0.15	0.19	0.25
4000	0.065	0.085	0.11	0.14	0.18
5000	0.055	0.07	0.09	0.12	0.15

Deflexión estática requerida (pulgadas)

FIGURA 4.7 Selección de Resortes dependiendo de la velocidad y el % de vibración transmitida. (8)

2. Control de Fricción:

La fricción es la consecuencia del rozamiento de dos partes y es otro fac--

7. En el capítulo V se presenta mayor información sobre aislantes.
 8. Fuente: Industrial Noise Control. de H. Bell.

tor importante productor de ruido. Su control puede realizarse al lubricarse las partes, puffendolas, montando baleros o radamientos, engranes; la instalación de cualquiera de estos elementos dependerá de las partes que están en fricción, para la selección adecuada del elemento se recomienda la consulta de gráficas comerciales.

3. Control de Turbulencia.

El movimiento de los fluidos sobre todo aquellos que presentan flujo turbulento dentro del equipo, tuberías y ductos es otro de los factores productores de ruido. El ruido de turbulencia es proporcional a la potencia de la máquina elevado a la quinta potencia. Los métodos de control de ruido por turbulencia son los siguientes:

- a) La primera forma de control es eliminar las resistencias de ductos y tuberías, de ser posible disminuir la velocidad del flujo, colocar accesorios adecuados como son juntas de expansión, uniones flexibles, válvulas evitar expansiones, procurar que las tuberías y ductos viajen en forma recta teniendo sus respectivas omegas absorbedoras de vibraciones (contracciones y expansiones de las tuberías). Existen muchos fabricantes de este tipo de accesorios y para la correcta elección se sugiere consultar su información.
- b) Silenciadores. Una de las formas más usuales de reducción del ruido es mediante la instalación de silenciadores; hay dos tipos de estos; los resistivos y los reactivos mostrados en la figura 4.8. Los silenciadores reactivos (ver figura 4.8a), consisten en una cámara de expansión o varias interconectadas en línea y trabajan bajo el principio de que cuando una onda sonora llega a una discontinuidad sólo se transmite parte de su energía. Los silenciadores resistivos (figura 4.8b) consisten básicamente en un ducto con un revestimiento acústico interior, pasados en el principio de que la energía sonora será absorbida por el material acústico convirtiéndose en calor.

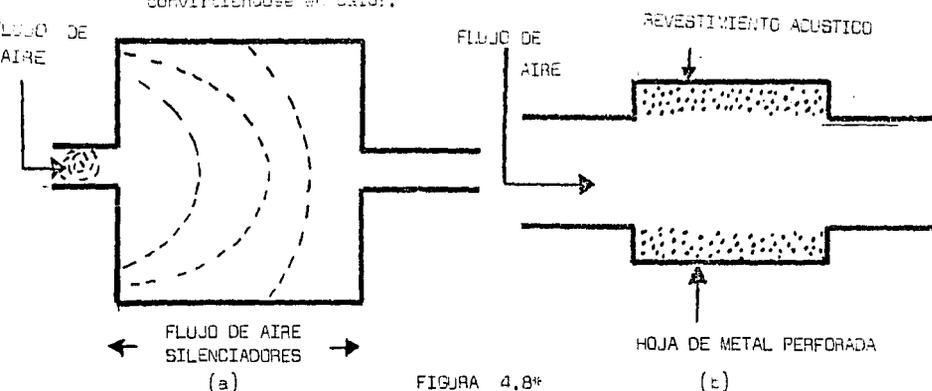


FIGURA 4.8*

* Tomada de la Revista Higiene y Seguridad, Volumen XXIV No.4, Publicada por la Asociación Mexicana de Higiene y Seguridad, A.C., 1981.

- c) Aislamiento. Otro método para evitar la propagación del sonido, consiste en forrar las tuberías con materiales aislantes como son fibra de vidrio y asbesto.
- d) Mofles y Silenciadores. Para purgas y descargas de gases se utilizan silenciadores con el principio de expansión instalados en la boca de descarga.

CAPITULO 5

RESPUESTA ACUSTICA DE LOS MATERIALES Y ELEMENTOS ARQUITECTONICOS

5.1 INTRODUCCION

Las condiciones acústicas que un recinto debe tener, dependen de tres factores:

- La planificación del proyecto arquitectónico en relación con el medio ambiente.
- La proporción, forma y disposición de los elementos arquitectónicos.
- Los materiales a ser usados.

Todo proyecto industrial debe adecuarse al medio ambiente que lo rodea. El manejo del sonido en cuanto a dirección, carácter e intensidad está ligado íntimamente a la proporción, forma y disposición de: muros, plafones, pisos, etc., que junto con las características acústicas de los materiales usados determinan las condiciones acústicas de un local.

El conocimiento de la respuesta acústica de los materiales es de primordial importancia para la especificación dentro del proyecto, pues de esta especificación dependerá el aislamiento acústico y las condiciones reverberativas de nuestros locales, características que definen, en conclusión, el ambiente acústico de cada proyecto.

En una industria deben tenerse condiciones acústicas adecuadas para brindar confort y/o colaborar con el trabajador a incrementar la productividad.

5.2 CLASIFICACION DE LOS MATERIALES ABSORBENTES.

Las superficies según su respuesta acústica, pueden clasificarse como sigue:

- a) Superficies impermeables rígidas. Son aquellas en que la rigidez no es total y siempre tienen lugar pequesísimas deformaciones por la presión sonora, además las asperezas o irregularidades de la superficie pueden modificar la respuesta del material. Como ejemplo de este tipo de materiales podemos citar el tabique, el concreto, el aplanado de yeso, cemento, etc.
- b) Superficies impermeables flexibles. Una superficie impermeable y flexible vibrará al impacto de una onda sonora. La excitación del material alcanzará una máxima eficiencia, por consiguiente la máxima absorción

sonora tomará lugar cuando la frecuencia del sonido es la misma que la frecuencia del elemento.

En otras frecuencias la absorción del sonido será mínima. Esta frecuencia está determinada por la rigidez del panel (σ), el mecanismo de soporte y la masa del mismo. Así cuando el panel en estudio tiene un espacio de aire atrapado en su parte posterior, la rigidez de este volumen de aire modificará la rigidez del panel y por lo tanto deberá tomarse en cuenta lo siguiente:

La frecuencia de resonancia de un panel puede ser calculada por la siguiente fórmula:

$$F_{res} = 60 \frac{1}{m d} \dots\dots\dots \text{Ec 5.1}$$

Donde: F_{res} = Frecuencia del panel.

m = Masa superficial, (Kg/m^2)

d = Distancia de aire entre la cara posterior del panel y otra superficie rígida, (m).

La gama de frecuencias en la cual un panel absorbe sonido depende de sus características de fricción interna (amortiguamiento), en las cuales se efectúa la vibración. Así tenemos que un panel que tenga mucho "amortiguamiento" absorberá en una gama más amplia de frecuencia.

Como ejemplo de este tipo de materiales, podemos citar los laminados de madera, los paneles de vidrio, etc.

- c) Superficies porosas rígidas. Son todas aquellas que permiten el flujo de aire a través de ellas, sin embargo para determinar su capacidad de absorción de sonido, hay que tomar en cuenta una serie de factores que a continuación enumeramos:

I Grado de porosidad. Es la frecuencia de espacio vacío en un volumen de material.

II Resistencia al flujo. Es la medida de la dificultad con que el aire puede atravesar el material.

III Factor de estructura. Es la medida de la cantidad de espacio muerto, ya sea material o burbujas de aire encerradas en relación con los poros que permiten el paso del aire a través del material.

La resistencia al flujo resulta un factor de mayor significado para las características de absorción de un material particularmente si se considera en conjunto con el grueso de la lámina de material absorbente, pues según las consideraciones anteriores requerimos que el material sea penetrado fácilmente por el sonido para evitar la reflexión en su superficie.

Ejemplo de estos materiales son el fieltro, fibra de vidrio, tela de lana, etc.

- d) Superficies porosas flexibles. En esta clasificación debemos incluir la fibra de vidrio en colchoneta, espumas de poliuretano, etc. Las características de este tipo de materiales son similares a las superficies porosas rígidas, sólo que debemos incluir el efecto causado por y

na superficie que cede fácilmente a la presión sonora y que en un momento dado modifica diferencialmente su densidad y porosidad por el movimiento; este movimiento provoca, asimismo, pérdidas de energía, lo cual contribuye a la absorción del sonido.

5.3 METODOS PARA DETERMINAR LOS COEFICIENTES DE ABSORCIÓN SONORA.

La absorción sonora de los materiales se define así: como el inverso de la - relación de la intensidad sonora reflejada a la intensidad sonora incidente de un material, como lo muestra la siguiente ecuación:

$$\alpha = 1 - \frac{I_r}{I} \quad \dots\dots\dots \text{Ec 5.2}$$

Donde: α = coeficiente de absorción sonora
 I_r = intensidad sonora reflejada
 I = intensidad sonora incidente.

La unidad que se utiliza para determinar α es el metro cuadrado de ventana a uierta M² VA, inventado por W.D. Sabine a principios de nuestro siglo.

Uno de los métodos utilizados para determinar los coeficientes de absorción sonora es el del tubo de ondas estacionarias, el cual consiste en un tubo con determinadas dimensiones, en uno de cuyos extremos se instala la muestra de material a probar (generalmente círculos de 3 y 10 cms. de diámetro), y en el otro extremo se instala una bocina que produce sonido en tonos puros y siempre a 90° de la muestra. Los coeficientes de absorción sonora en este caso se determinan por medidas del patrón de ondas estacionarias que se establece en el tubo. A continuación la tabla 5.1 muestra los coeficientes de absorción de algunos materiales más comúnmente utilizados.

5.4 APLICACION DE LOS MATERIALES ABSORBENTES ACUSTICOS

Los materiales absorbentes acústicos se usan principalmente para la reducción del nivel de presión sonora en recintos. A continuación se describen las aplicaciones de éstos:

Los materiales absorbentes de tipo poroso empleados más comúnmente son las fibras de vidrio o minerales y las espumas de materiales plásticos. Estas espumas son excelentes por su capacidad de absorción, pero son malos materiales como

barrera a la transmisión del sonido. La más usada para la absorción de ruido es la espuma de tipo éster de poliuretano. Estas espumas están en el mercado en forma no reticular con una piel microporosa intacta. La espuma no reticulada tiene unas membranas extremadamente delgadas que cierran los orificios.

Para maximizar la absorción en zonas de frecuencia específicas, se fabrican espumas con superficies distorsionadas y también espumas comprimidas de aspecto similar al fieltro. Para la absorción del ruido se emplea normalmente espuma de 2 libras por pie cúbico de densidad.

Las fibras de vidrio o minerales empleados como absorbentes del ruido están compuestas de largas fibras unidas mediante resinas u otros agentes colantes y son usados generalmente donde existen temperaturas más altas. En general, es la resina al componente limitador de la temperatura por lo que para más altas condiciones de calor se emplean minerales diferentes al vidrio. En algunos casos y para temperaturas hasta los 1200°F, se usan maderas minerales como absorbentes. Al igual que las espumas, los minerales fibrosos absorbentes pueden ser suministrados con películas protectoras e incluso totalmente encerrados en bolsas de polietileno.

MATERIAL	α FRECUENCIAS, Hz					
	125	250	500	1K	2K	4K
Ladrillo	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.07
Placa de concreto con panel fibrosa	0.08	0.24	0.57	0.68	0.71	0.73
Placa de concreto	0.36	0.27	0.39	0.54	0.48	0.63
Placa de concreto o terrazo	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Placa de madera	0.15	0.11	0.10	0.07	0.08	0.07
Cristal	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
Feltro	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09
Materia fibrosa 3/8"	0.23	0.22	0.17	0.09	0.16	0.11
Materia fibrosa 1/2" uretano flexible 1/4"	0.08	0.10	0.20	0.30	0.70	1.00
Espuma de poliuretano flexible 1"	0.14	0.25	0.55	1.00	0.87	0.94
Espuma de urea, sin compresión 2"	0.61	0.45	0.35	0.32	0.40	0.21
Fibra de vidrio, semi-rígida con PVC, 1"	0.30	0.90	0.92	0.90	0.82	0.54
Fibra de vidrio, 1 1/2" uretano a tablarroca	0.25	0.49	0.98	0.99	0.91	0.85
Fibra de vidrio, aislamiento a pared 2"	0.27	0.70	0.96	0.99	0.98	0.86
Lana mineral 1"	0.10	0.29	0.72	0.97	0.97	1.00
Lana mineral 2"	0.29	0.58	0.88	1.00	1.00	1.00

TABLA 5.1 Coeficientes de absorción de materiales. (10)

Existen otros absorbentes menos conocidos como son los pulverizados. La

absorción sonora es del tipo de los absorbentes porosos y consiste en un recubrimiento pulverizado que depende del material en polvo utilizado, el espesor aplicado y el material de base sobre el que se añade la capa pulverizada. En consecuencia, de acuerdo con estas variables, la absorción sonora variará de unos casos a otros.

Las técnicas recomendadas por los fabricantes en la aplicación de esta capa consiste en la pulverización mediante un spray sin aire sobre una superficie que ha sido limpiada cuidadosamente eliminando la grasa, la suciedad, polvo, arena, etc. Los problemas mayores que plantean este tipo de absorbentes derivan de la fragilidad y de su limpieza.

Otros materiales a base de fibras unidas a presión, bajo altas temperaturas, reúnen buenas propiedades absorbentes del sonido. Además tienen mayor resistencia al desgaste que las fibras de vidrio y son más densos y pesados que las espumas y las fibras de vidrio corrientes.

También se fabrican absorbentes porosos a partir de fibras de madera unidas de forma similar a las de vidrio. En general, son mucho más rígidos y se utilizan como paneles y para recubrimientos. En este segundo caso el material de unión es alguna variedad de cemento que le proporciona una mayor resistencia al medio ambiente. El asfalto que se le coloca encima mejora sus propiedades aislantes.

Otro material absorbente es el conocido panel de celdillas que es a la vez ligero, no contaminante, resistente y no necesita absorbente poroso adicional.

En general estas son algunas de las principales aplicaciones de los materiales absorbentes acústicos más utilizados.

5.5 AISLAMIENTO DEL SONIDO

El aislamiento sonoro significa evitar el paso de energía desde un punto a otro, la forma más obvia de lograr esto, es con un elemento rígido e impermeable acústicamente, instalado de forma que evite la propagación del fenómeno en todos sus puntos. De hecho podríamos resumir el fenómeno de la siguiente forma:

Quando una onda sonora choca contra una superficie sólida e impermeable, parte de esa energía es reflejada, parte se transmite al elemento y parte se absorbe por el efecto del choque.

Es importante definir que cuando se refiere a aislamiento acústico se considere éste como la resistencia que opone un elemento a vibrar bajo una presión sonora.

La capacidad de aislamiento expresada en decibeles se nombra como "pérdida — por transmisión sonora" "TL", y su relación con el coeficiente de transmisión sonora es el siguiente:

$$TL = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad \dots\dots\dots \text{Ec. 5.3}$$

Donde τ = coeficiente de transmisión sonora.

La pérdida de transmisión del sonido es una propiedad de los materiales aislantes y se define como el número de decibeles que reducen en la transmisión de energía sonora en cada frecuencia. La tabla 5.2 muestra los coeficientes de pérdida de transmisión de algunos materiales aislantes.

5.5 MATERIALES HÚMEDOS

Debido al reciente desarrollo de materiales húmedos, existe una pequeña seguridad en la reducción del sonido, lo cual es significativo. Estos constan usualmente de un revestimiento transparente y delgado de plástico epóxico o pegamento el cual se puede adherir a hojas de metal, mecanismos, partes mecánicas, etc. Con este revestimiento aplicado el impacto a una superficie se asemeja a una resonancia, aquí la energía es disipada como fricción viscosa.

La siguiente lista es básica para la instalación de materiales húmedos:

1. Una capa delgada de aproximadamente 10 % del grosor del material utilizado debe ser aplicado para eliminar los ruidos por el choque que se — provoque con una excitación

MATERIAL	ESPESOR	DENSIDAD	FRECUENCIAS, Hz						
			125	250	500	1K	2K	4K	8K
Acero	1/4	1.45	16	17	22	25	33	35	35
Cuero	1/4	3.0	17	23	25	27	28	29	29
Concreto 3 mm laminado	9/32	3.7	27	28	31	37	41	38	
Concreto 6 mm laminado	0.51	6.1	33	32	35	35	40	45	
Plomo	1/32	2.0	22	24	29	33	40	45	49
Materiales a triplay	3/4	2.0	24	22	27	28	25	27	35
Poliestireno	cal. 18	2.0	15	19	31	32	35	48	53
	cal. 16	2.5	21	39	34	37	40	47	52
Taladro	5/8		23	28	33	43	50	49	50
Chapa	4.0	48.0	29	35	37	43	44	50	53
Blanco concreto	6.0	36.0	33	34	35	38	46	52	55

TABLA 5.2 Pérdida de transmisión de sonido de materiales en dB. (11)

11. Tabla obtenida de la NIOSH, Industrial Noise Control Manual, 1978.

Es recomendable para paredes rígidas sujetas a estados de vibración, una ca pa igual a una o una y media veces el grosor del material (15 - 20%).

En conclusión, podemos afirmar que existe una variedad de materiales acústicos utilizados para el tratamiento del ruido.

CAPITULO 6

AISLAMIENTOS

6.1 ANTECEDENTES

Cuando la tecnología no proporciona medios para reducir el ruido en la fuente el medio transmisor del ruido puede ser interrumpido por medio de aislamientos de la fuente en gabinetes acústicos o barreras; aislamientos de los operadores en cabinas a prueba de ruidos y buena ubicación de los equipos ruidosos en áreas separadas y aisladas.

El material absorbente instalado en los muros o superficies de áreas ruidosas puede ser usado como un método de interrupción ambiental de ruido. Este método se basa en las propiedades del material absorbente que evita que las ondas sonoras - reboten en superficies reflejantes ocasionando un incremento del nivel sonoro de un área debido a la reverberación.

Actualmente se cuenta ya con mucha literatura acerca de absorción acústica y la física de la reverberación que es simplemente la propagación del sonido por el choque de ondas sonoras en muros o plafones.

Sin embargo, el método de absorción acústica representa una relación efectividad-costo muy elevada, ya que los materiales que se emplean generalmente a base - de fibra de vidrio son de altos precios y las reducciones del nivel sonoro total varían de 3 hasta 10 dbA en 1000 Hz.

Otro método común es usar gabinetes acústicos que encierran la fuente y la - separan del operador, analicemos ahora los aislamientos en maquinarias.

6.2 AISLAMIENTOS DE MAQUINARIA

Existen dos tipos básicos de aislamiento de maquinaria o equipo: Total y parcial, que se muestran en la figura 6.1.

La atenuación o reducción del ruido de una pared o panel depende en primer - lugar de la masa o de la densidad de la superficie del material, o sea, las pare - des de mayor grosor generalmente proporcionan mayor reducción de ruido que las pa

redes de menor grosor.

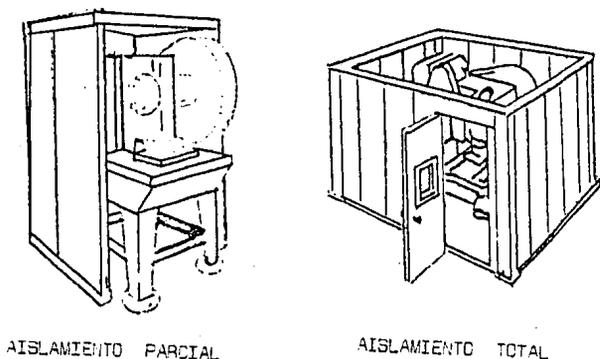


FIGURA 6.1 Aislamiento típico de maquinaria (12)

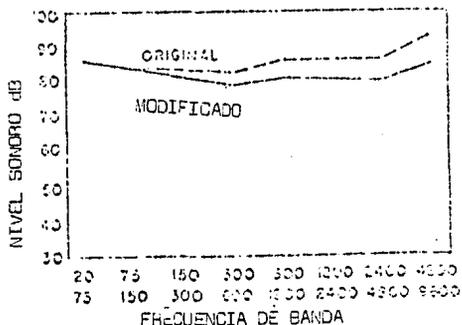
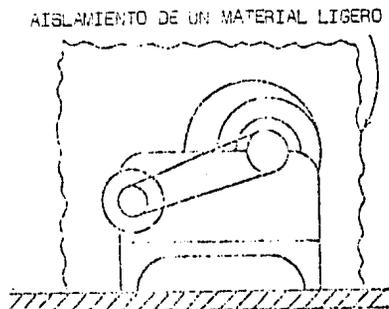
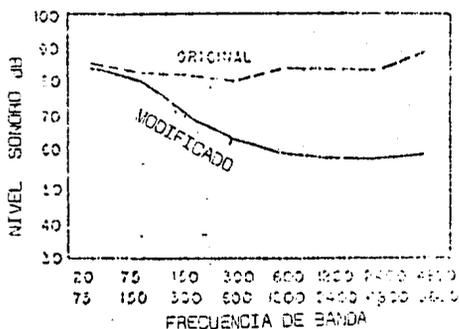
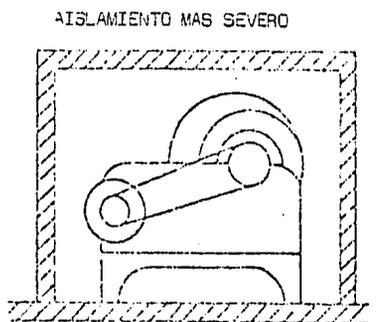


FIGURA 6.2 Ilustración de aislamiento de maquinaria con dos diferentes materiales y su gráfica correspondiente del nivel sonoro antes y después del aislamiento. (13)

12. Fundamentals of industrial noise control.

13. Fundamentals of industrial noise control.

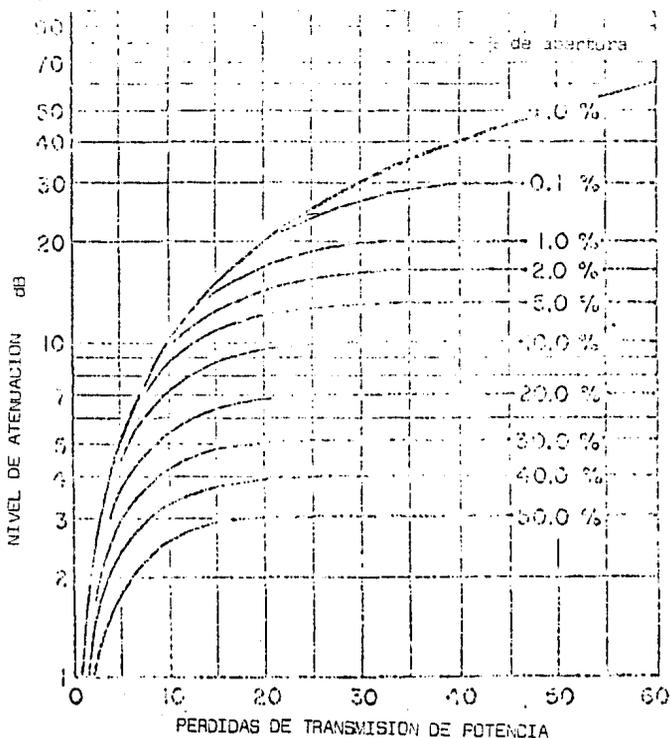


FIGURA 6.3 Efecto de la pérdida de transmisión de potencia en aislamientos. (14)

Este fenómeno se puede observar en la figura 6.2, comparando la reducción de ruido de un material ligero a un aislamiento más severo.

Los materiales absorbentes pueden ser de poliuretano que se pueden encontrar en el mercado, el aspecto más importante en el cual se debe poner mucha atención es que no existan fugas de aire en el panel de aislamiento, ya que de haber alguna el aislamiento se reduce considerablemente.

En la figura 6.3 se muestra la relación entre niveles de atenuación respecto a las pérdidas de transmisión. Como se podrá observar en la misma figura, el comportamiento del aislamiento sonoro está en función directa del porcentaje de apertura del aislamiento total de la maquinaria dependiendo del diseño y material seleccionado.

El nivel de atenuación sonora en dB en cuyo rango máximo se limita a 32 dB - en la realidad dependiendo del nivel de aislamiento,

Esta serie de láminas muestra la reducción de la intensidad del sonido emitido por una maquinaria, graficando los resultados obtenidos en cada análisis de aislamiento acústico.

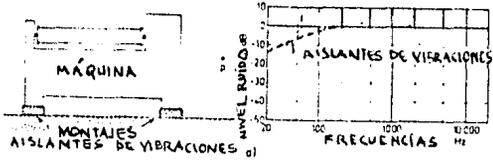


FIGURA 6.3a (15)

- a) En esta figura se representa el resultado del aislamiento por resortes o gomas de caucho donde la mayor atenuación se encuentra en las frecuencias de menos de 100 hz.

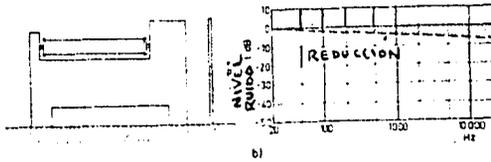


FIGURA 6.3b (16)

- b) Aquí se demuestra la pérdida de difusión de las altas frecuencias con un muro parcial de aislamiento sonoro.

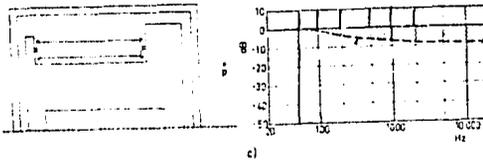


FIGURA 6.3c (17)

- c) Los resultados de un aislamiento completo con materiales de bajo espesor presentan una reducción mayor comparada con la figura b.

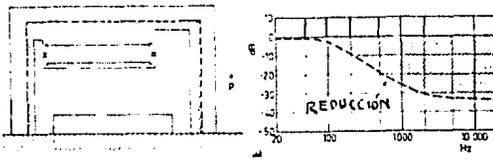


FIGURA 6.3d (18)

d) El empleo de materiales de un mayor refuerzo aislante nos ofrece una reducción superior a los 30 dB para las altas frecuencias cercanas a los 10 000 Hz.

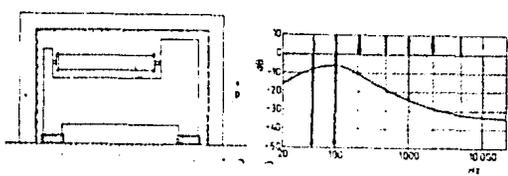


FIGURA 6.3e (19)

e) El ejemplo de un sistema integral de aislamiento sonoro es mostrado en esta figura. Por ende los costos son superiores, de aquí que el ingeniero evaluará todos los factores a considerar para una solución óptima.

6.3 AISLAMIENTOS EN OFICINAS DE LAS LINEAS DE PRODUCCION

Existen varios diseños para aislamientos de puertas y ventanas, sólo algunos de ellos se mostrarán a continuación:

Un simple y muy efectivo diseño de una puerta empleando un pánel de acceso - se muestra en la figura 6.4.

Para asegurarnos de que exista eficiencia, se incluye un sello en forma de laberinto ejerciendo presión por medio de un picaporte para que la puerta selle.

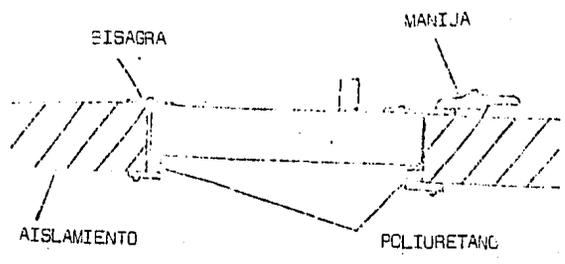


FIGURA 6.4 Instalación típica de puertas de aislamiento. (20)

Existe gran variedad de entradas pero la configuración que se ilustró sigue las pautas para un buen diseño.

Las ventanas siempre presentan un problema en el diseño de aislamientos, sin

19. Brüel & Tjaer Measuring Sistem, Julio, 1967.
 20. Fundamentals of industrial noise control.

embargo, se pueden simplificar si se siguen los dos siguientes pasos:

1. Usar dos tableros espaciados con dos pulgadas uno del otro. Se seleccionan de un plástico transparente o cristal de seguridad, los cuales varían de 1/4 a una pulgada de espesor.
2. Los tableros deben ser colocados en caucho o en espuma de poliuretano.

La figura 6.5 muestra dos métodos simples de instalar ventanas, las cuales tienen un buen funcionamiento.

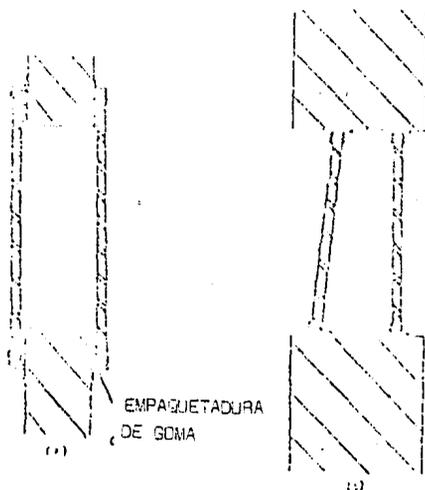


FIGURA 6.5 Instalación típica de ventanas aisladas. (21)

6.4 AISLAMIENTOS PARCIALES

El tema de los aislamientos parciales será brevemente mencionado debido a que es difícil predecir la reducción del ruido de éstos aislamientos, además de que su efectividad está restringida a situaciones especiales.

La construcción de un aislamiento parcial se muestra en la figura 6.1.

Las paredes son de paneles acústicos con una superficie interna altamente absorbente. Si la fuente de ruido se encuentra bien aislada y si el ruido es de alta frecuencia la reducción en el lado exterior del panel es de 8 a 10 dB y la reducción del ruido en el lado interior del aislamiento es de 15 a 20 dB. Por lo tanto podemos afirmar que los aislamientos parciales son de gran ayuda y proporcionan una defensa para la reducción del ruido.

Un tipo especial de aislamientos son las llamadas barreras parciales, éstas son simples paredes que se interponen entre la fuente productora de ruido y el receptor, para que el ruido no trascienda totalmente a las personas que se encuentran cerca de ella. La importancia principal de una barrera como se muestra en la figura 5.6 es proporcionar un escudo protector.

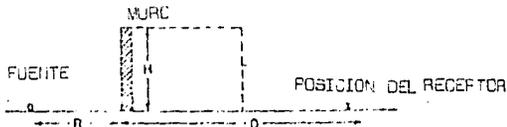


FIGURA 5.6

Una buena aproximación para calcular el espectro del ruido de las barreras - se puede hacer mediante la ecuación 5.1

$$\text{Reducción (dB)} = 10 \log \frac{20 H^2}{L R} \quad \dots\dots\dots \text{Ec 5.1}$$

- Donde H = altura de la barrera en pies.
- R = distancia de la fuente a la pared en pies.
- L = longitud de onda del sonido en pies/dB.

La ecuación puede usarse sólo cuando la distancia de la barrera al receptor es mucho más grande que la distancia de la pared a la fuente.

En la industria se producen ruidos de alta intensidad y su reducción mediante barreras parciales puede calcularse mediante la ecuación 5.1 con resultados -- bastante aceptables.

Actualmente el gran desarrollo de nuevos materiales ha hecho posible que comercialmente se encuentren paneles acústicos que hacen óptimo el amortiguamiento de vibraciones y la absorción de ruido.

Existen varias formas de paneles o paredes de aislamiento las cuales mencionaremos brevemente:

Aislamientos de una sola capa.- Son aquellos aislamientos que consisten en una estructura de hierro en la cual el material se sujeta, aplicándole un material elástico de amortiguamiento que puede encontrarse en forma de lámina. Con estos tipos de paneles se obtienen atenuaciones de 3 a 5 dB.

Vidrio celular.- Es un vidrio que se obtiene inyectando a presión anhídrido carbónico en la masa de vidrio fundido. El producto contiene gran cantidad de celdillas microscópicas repletas de gas, aparte de su aislamiento acústico, es ligero, inalterable y rígido.

Paneles comprimidos para aislamientos.- El diseño de estos elementos está integrado simplemente por dos elementos unidos uno con otro por medio de un compuesto elástico de amortiguamiento. La efectividad del amortiguamiento se debe al esfuerzo cortante que se desarrolla en la capa central, cuando la capa del metal trata de vibrar.

Aislamientos con multicapas.- Para equipos con alto nivel de ruido, los paneles multicapa emplean una combinación de materiales absorbentes y materiales sólidos. Básicamente, el alternar estos materiales produce un cambio brusco en la transmisión del ruido.

3.3 MATERIALES AISLANTES

Uno de los principales aislantes del ruido es el corcho y sus derivados. El corcho procede del árbol denominado alcornoque, el cual está constituido esencialmente por células tubulares microscópicas de tejido orgánico, llenas de aire, sin comunicación directa entre sí y aglomeradas con sustancias resinosas.

Corcho Aglomerado.- Los aglomerados de corcho se emplean para el aislamiento del ruido. Su campo de aplicación es muy vasto, adoptándose en la construcción de viviendas y oficinas de las industrias; como pavimento continuo, o bien en paredes y techos. En el comercio aparece bajo diversas formas y dimensiones, en placas, ladrillos, aserrín, etc.

Maldosas de Corcho.- Es un aglomerado de corcho que se obtiene mediante una fuerte presión y coacción bajo condiciones especiales. Este producto es resistente gracias a la perfecta cohesión de los gránulos y a la óptima relación existente entre los coeficientes de dureza y elasticidad.

Placas de corcho para techos.- Se construyen cielos-rasos con placas de corcho granulado y seleccionado. Su instalación es relativamente fácil. Estos cielos-rasos se distinguen por ser absorbentes del ruido hasta en un 50%. Son fuertes, duraderos, resistentes al fuego, flexibles y ligeros.

Aserrín de corcho.- El aserrín de corcho se emplea principalmente como material de relleno en las cámaras dejadas al construir dos paredes. Es una operación efectiva y el aserrín existe en grano fino y grano grueso.

CAPITULO 7

MARCO LEGAL DEL RUIDO

7.1 ANTECEDENTES

El desarrollo demográfico de México se ha venido incrementando considerablemente durante las últimas décadas, así vemos que con la tasa de crecimiento del 3.9% aproximadamente, la población en el año 2000 podrá llegar a ser del orden de los 120 millones de habitantes.

Como consecuencia de este aumento en la población, la necesidad de mayor producción de satisfactores, consumo e insumos, se ve también altamente incrementada de aquí y como consecuencia lógica, la industria se ha venido desarrollando en forma considerable en los últimos años, ayudada por la alta tecnología con que se cuenta; prueba de ello es la creación de corredores, parques y zonas industriales a través del territorio nacional, tales como los que se encuentran establecidos en los Estados de Querétaro, Veracruz, Puebla, Tamaulipas, México, Jalisco, Nuevo León y obviamente el Distrito Federal. Si bien es cierto que el desarrollo industrial propicia nuevas fuentes de trabajo, también lo es que en forma paralela se acentúa el incremento de la mortalidad de la población trabajadora. Los riesgos a los que están expuestos los trabajadores, podrían variar de acuerdo a los diferentes tipos de giros y procesos industriales, por lo que los operarios pueden verse expuestos a un sinnúmero de agentes contaminantes, tales como: físicos (ruido, vibraciones, radiaciones, calor, etc.); químicos (humos, polvos, neblinas, gases y otros); biológicos (hongos, bacterias, virus, etc.); psicosociales (ritmos y tiempos de trabajo, lugares inadecuados de trabajo, etc) y otros más.

De aquí surge la necesidad de implementar programas que a través del reconocimiento, evaluación y control de las condiciones de trabajo, que sean capaces de producir un accidente y/o enfermedades ocupacionales, no sólo ahora, sino a un futuro mediano y aún a largo plazo.

Un análisis de población, industrial y de actividades de seguridad social se presenta a continuación, teniendo la finalidad de conocer aquellas zonas y áreas sobre las cuales las acciones a seguir deben tener un mayor interés.

De la población total de la República Mexicana que es de 66 846 833 (Censo de población 1980), la económicamente activa es de 22 066 084, lo que representa el - 33 % de la población total, distribuyéndose la población económicamente activa en las siguientes entidades federativas:

Distrito Federal	3'312,581	lo que representa el 15 %			
Estado de México	2'410,236	"	"	"	10.92 %
Veracruz	1'796,219	"	"	"	8.13 %
Jalisco	1'413,584	"	"	"	6.40 %
Puebla	1'081,573	"	"	"	4.89 %
Guanajuato	978,013	"	"	"	4.43 %
Nuevo León	803,764	"	"	"	3.60 %
Tamaulipas	624,497	"	"	"	2.82 %
Querétaro	224,435	"	"	"	1.01 %

Debido a que la industria manufacturera tiene una población económicamente activa de 2 575 124 trabajadores, se constituye en uno de nuestros objetivos principales en las actividades a desarrollar. En orden decreciente éstos quedan integrados en los siguientes estados: México, Distrito Federal, Jalisco, Nuevo León, Veracruz y Puebla.

De acuerdo al Censo Industrial del IMSS 1980, los giros industriales ascenden a un total de 366 452, aquellos que deben estar sujetos a estudios básicos — son los que se encuentran dentro de las ramas de fabricación de: productos químicos, sustancias químicas básicas, fertilizantes y plaguicidas, resinas y fibras — sintéticas artificiales, pintura, barnices, lacas y esmaltes, con relación a datos aportados por el Instituto Mexicano del Seguro Social la población asegurada hasta 1980 era de 5 077 948 trabajadores en nuestro país, un promedio de seis obreros — mueren por día laboral a causa de diferentes accidentes de trabajo.

En el año de 1970 se sucedían los accidentes uno cada dos minutos, mientras que durante el año de 1980 éstos se presentan uno cada 57 segundos.

Estas cifras se encuentran registradas considerando que al Instituto única y exclusivamente se reporta uno de cada cuatro accidentes y es necesario considerar que no se encuentran incluidos aquellos sucedidos en PEMEX, Ferrocarriles Nacionales y en la Comisión Federal de Electricidad y otras empresas no registradas en Cá

maras Industriales.

Estadísticamente, se considera que a partir del año 1970 el número de accidentes de trabajo se ha venido incrementando hasta llegar a un 132 % de acuerdo a los registros del IMSS, de aquí que en el año de 1970 se hayan registrado 259 752 accidentes y durante 1980 se han llegado a un total de 600 872.

De éstas las partes más afectadas del cuerpo son: manos (41.6%), pie (13.7%), miembro inferior (10.3%), miembro superior (9.2%), tronco (8.7%), ojos (7.7%), etc.

Por lo que respecta a enfermedades del trabajo fueron reportadas en el año de 1980, 2714; en 1981 el total fue 3 462; y en 1982 ascendían a 4 554.

De éstas las diagnosticadas con mayor frecuencia fueron, en orden decreciente: Dermatitis de contacto, Neumoconiosis, Otopatías por Trauma Acústico e Intoxicaciones.

Las cifras presentadas por el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los trabajadores del Estado, muestran que la población total amparada en el año 1983 era de 5 610 995 y en el año de 1979 de 4 879 226, lo que representa un aumento en la población global de 14.99 % (Se incluyen familiares).

El total de trabajadores que reciben los servicios del mismo Instituto era en 1979 de 1 407 518 y en 1983, es de aproximadamente 1 650 522, que en términos porcentuales representa el 17.25% de incremento en el quinquenio estudiado.

Las pensiones por accidentes de trabajo y enfermedades profesionales aprobadas fueron durante el año 1949, 45 y en el año 1983, 336. El aumento en este rubro es del 1757.77 %, que puede indicarnos la forma alarmante en que año con año han venido incrementándose los accidentes y las enfermedades profesionales.

Por otra parte, las Licencias Médicas y los días de incapacidad concedidos — muestran claramente la misma tendencia indicada anteriormente ya que si las primeras durante el año 1979 fueron de 714 044, durante 1983 se llegó a la cifra de — 1 218 332; las incapacidades alcanzaron un total en 1979 de 6 374 004 y en 1982 se computaron 10 334 924.

Estos últimos datos no están en relación directa con el aumento de población y por otra parte el número de accidentes tiene la tendencia a incrementarse considerablemente y en forma alarmante.

Al analizar las diferentes ramas y giros industriales, se encuentran que para el mismo año de 1960 es la industria manufacturera la que presenta el mayor número de accidentes: 425 517; mientras que en la industria extractiva fue solamente - - 25 937. Estas cantidades vienen a reflejarse en miles de millones de pesos, que -- continuamente sangran la economía del país.

7.2 REGLAMENTO CONTRA EL RUIDO PARA EL DISTRITO Y TERRITORIOS FEDERALES

El presente reglamento es publicado por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, del cual se tomaron los principales artículos relacionados al ruido industrial.

ARTICULO 1o. Serán objeto del presente reglamento los ruidos y sonidos que - se produzcan en los establecimientos industriales.

ARTICULO 2o. Los ruidos y sonidos a que se refiere el artículo anterior, son:

- a) Los producidos por los silbatos de las fábricas.
- b) Los producidos en toda clase de industrias por la maquinaria, aparatos, instalaciones, instrumentos de trabajo y similares; dentro o fuera de las fábricas o talleres.

ARTICULO 3o. Por lo que se refiere al inciso b) del Artículo 2o, se establecen las siguientes reglas:

1.- En toda clase de instalaciones industriales que se encuentren establecidas en zonas urbanas y también en las ubicadas en las zonas industriales, las empresas deberán adoptar y poner en práctica los sistemas más eficientes y modernos a juicio de las Secretarías del Trabajo y de Salubridad y Asistencia, según el caso, para que la instalación y cimentación de la maquinaria y aislamiento sean correctos y evitar que los ruidos trasciendan a la vía pública o a las habitaciones contiguas, para lo cual se sujetarán a las disposiciones siguientes:

- a) Se toleran como cifras máximas de intensidad del ruido - en el recinto de los talleres: la de 80 decibeles cuando el ruido es continuo y 90 decibeles si es intermitente.
- b) Cuando la intensidad del ruido alcance la cifra de 100 - decibeles y no fuera posible conseguir ninguna reducción los empleados o trabajadores afectados deberán ser provistos de aparatos individuales protectores contra el -- ruido,
- c) Las instalaciones industriales ruidosas deberán estar se paradas de las habitaciones contiguas por dobles muros, distantes entre sí por lo menos 10 centímetros, con objeto de dejar entre ambas una cámara de aire. Cuando esto

no sea posible, la autoridad correspondiente podrá aceptar que se revista la superficie interior de los muros y techos con material aislante del sonido.

- d) Cuando el caso lo requiera, deberán ponerse techos de material aislante del ruido, sin dejar estre éstos y los muros espacios libres.
- e) Se cimentará, nivelará, ajustará y lubricará correctamente toda la maquinaria.
- f) Las grapas metálicas de las bandas deberán ser sustituidas por algún otro dispositivo que evite la producción del ruido.
- g) Las transmisiones no se apoyarán en las paredes, a fin de impedir que se produzcan vibraciones que lleguen a las habitaciones contiguas.

II Cuando el transporte del producto fabricado o de la materia prima empleada origine ruidos cuya intensidad sobrepase los límites señalados en el inciso a) de este artículo, deberán tomarse las medidas necesarias a efecto de atenuarlos hasta quedar dentro de los límites señalados en dicho inciso, pudiéndose emplear alguno o algunos de los dispositivos siguientes: -- bandas mecánicas sin fin, de recorrido lento, sistema de grúas u otros, de acuerdo con la clase de material transportado y manipulación de éste con la debida precaución para el mismo objeto.

III Cuando a pesar de haberse cumplido con todas las prescripciones que señala este Reglamento, no se consiga acotar la intensidad del ruido a menos de 90 decibeles (en el ambiente de trabajo) la autoridad respectiva dictará las disposiciones conducentes a efecto de que se proporcione a los trabajadores el dispositivo que tienda a disminuirlo y a modificar el ambiente de trabajo forrando los muros y techos con material aislante del ruido o mediante cualquier otro procedimiento eficaz, a juicio de las Secretarías del Trabajo o de la de Salubridad y Asistencia a efecto de disminuir el ruido en los talleres y de evitarlo en las habitaciones contiguas. Las mismas autoridades señalarán el plazo dentro del cual deberá cumplirse con lo dispuesto en esta fracción, plazo que no excederá de seis meses.

IV Se toleran como cifras máximas de intensidad del ruido dentro del recinto de los talleres 35 decibeles a 0,5 m. de distancia del exterior de los muros limítrofes de la factoría, entre las ocho y veinte horas; y de 20 a 30 decibeles respectivamente, a la misma distancia entre las veinte y las ocho horas, a efecto de evitar que molesten dichos ruidos a los vecinos.

ARTICULO 6o. Las instalaciones industriales que se encuentran ya establecidas en zonas residenciales deberán someterse a todas las pres-

cripciones que exige este Reglamento; y en caso de no poder evitar que la intensidad de los ruidos que originan, esté dentro de los límites señalados, la Secretaría del Trabajo o la de Salud y Asistencia, podrá ordenar su traslado en un plazo razonable, que no podrá exceder de un año, a la zona industrial correspondiente.

7.3 NORMA PARA EL RUIDO OCUPACIONAL

NORMA: Se debe establecer, protección contra los efectos de la exposición al ruido cuando sus niveles sean superiores a los que aparecen en la figura 7.1, medidos en la escala "A" de Decibelímetro Standar a respuesta lenta.

Para los propósitos de esta norma, la intensidad básica permisible es de 90 dBA para 8 horas diarias.

La cantidad de energía del ruido que absorbe durante dicha exposición se considera como el límite superior de una dosis diaria que no producirá pérdida de la audición en más de 20 % de la población expuesta.

Los obreros no deben exponerse a niveles de sonido estables superiores a 115 dBA, haciendo caso omiso de la duración.

Cuando la exposición diaria al ruido se compone de dos o más períodos de exposición a niveles diferentes, se debe considerar su efecto combinado más que el efecto individual de cada uno de ellos. Cuando la suma de las siguientes cifras - $\frac{C}{T} = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \frac{C_n}{T_n}$ Excede de la unidad, se debe considerar que la exposición mixta es superior al valor límite.

Donde C_n indica el tiempo total de exposición a un nivel específico de ruido y T_n indica el tiempo total de exposición que se permite para dicho nivel.

7.4 EXPOSICION A DIVERENTES NIVELES DE RUIDO

La figura 7.1 da los valores de las distintas exposiciones separadas a niveles diferentes de ruido durante el día, para verificar si la exposición combinada está o no dentro de los límites permisibles se hace de la siguiente manera:

Un obrero trabaja la mayor parte del día en un área en que el nivel de ruido es de 90 dBA, pero durante 1:45 horas de 8 de trabajo está en un área de 100 dBA, y que durante 15 minutos al día está en un área de 105 dBA.

Esto totaliza 6 horas a 90 dBA duración permisible 8 horas.
 1:45 horas a 100dBA duración permisible 2 horas.
 0:15 mint. a 105dBA duración permisible 1 hora.

Colocados estos valores en la ecuación obtenemos:

$$\frac{6}{8} + \frac{1.75}{2} + \frac{0.25}{1} = 1.87$$

Duración Horas/Día.	Nivel del ruido Respuesta lenta. dBA*
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1:30	102
1	105
0:30	110
0:15 ó menos	115

FIGURA 7.1

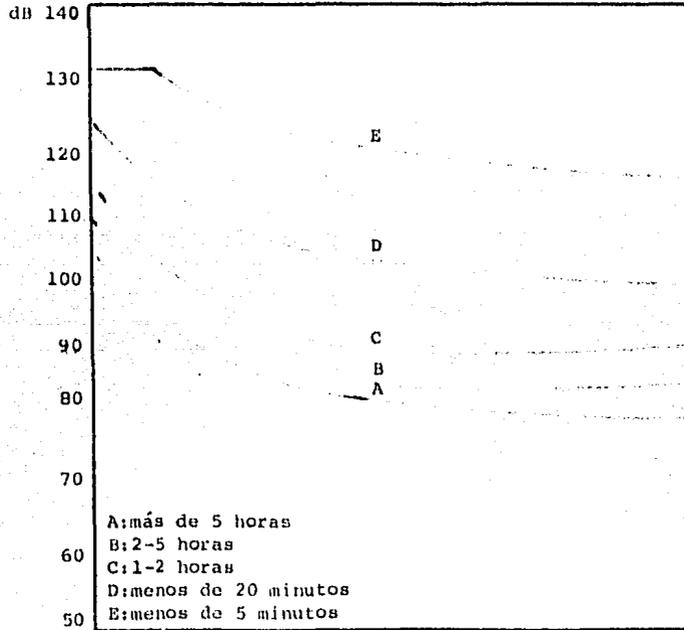
Pero como 1.87 es mayor a 1 se requerirá de protección, de igual manera para ruidos de un solo tipo si se excede de los límites marcados en la figura 7.1.

Ruidos de Impacto.- NORMA: La exposición al ruido impulsivo o de impacto no debe exceder de 140 dB máximo nivel de presión del sonido en respuesta rápida.

Ruidos Variables.- NORMA: Cuando las variaciones en el nivel del ruido implican una máxima a intervalos de un segundo o menos, dicho ruido se debe considerar como continuo. Esto significa que cuando el decibelímetro en la escala "A" respuesta lenta se mueve de una lectura general, establezca digamos por ejemplo de 88 a 92 dB a intervalos de un segundo o menos, la lectura alta es la que debe utilizarse en la figura 7.1.

En general, este capítulo se basa en las disposiciones ya establecidas por las dependencias de Gobierno, encargadas de la prevención de accidentes y enfermedades de trabajo.

Las curvas de abajo fueron tomadas de la propuesta de las Normas Suizas SEN 590111 (La correspondiente al Standard ISO Norma Internacional R 1999, no proporciona esta información).



63 125 250 500 1000 2000 4000 8000 16,000 Hz.

El nivel de presión del sonido, su frecuencia y período de exposición determina en todo caso un sonido seguro que sería o no peligroso a la audición. Las curvas muestran donde finaliza la zona de seguridad para diferentes períodos de exposición durante un día normal de trabajo.

C A P I T U L O 8

INVESTIGACION SOBRE HIPOACUSIAS OCUPACIONALES

8.1 Antecedentes

La información disponible sobre tasas de accidentes de trabajo refleja, año tras año, que sólo una reducida parte de la población económicamente activa en el país, se protege mediante alguna acción preventiva organizada.

La situación en cuanto a la prevención de las enfermedades ocupacionales es precaria y se hace evidente una limitada disposición y organización de recursos.

La pesquisa y reconocimiento de las enfermedades ocupacionales se lleva al cabo en forma excepcional por algunas empresas, no así en la mayoría de los sitios de trabajo, donde son evidentes las pésimas condiciones de higiene y seguridad que prevalecen.

Lamentablemente los trabajadores pretenden mayores prestaciones económicas y atención médica y poco entusiasmo manifiestan para lograr mejores condiciones en el ambiente laboral, tendientes a la prevención de los riesgos ocupacionales.

El trabajo pretende en caso a la curva de audición en individuos no expuestos a ruidos laborales, determinar la frecuencia y gravedad de las hipoacusias ocupacionales, correlacionarlas con el tiempo de exposición para lograr algunos indicios que pudieran usarse y para elaborar una norma de niveles admisibles de exposición laboral al ruido.

Además del personal examinado en la Dirección de Higiene y Saneamiento Ocupacional, hasta la fecha han sido objeto de estudio un total de 165 empresas, — destacando las dedicadas a la fabricación de productos metálicos, aparatos, accesorios, materiales eléctricos, manufacturas diversas y la industria textil.

8.2 LOS EMPRESARIOS

La colaboración empresarial, salvo contadas excepciones fue buena para la realización del estudio, aunque algunos resultados obtenidos al medir el ruido en el ambiente laboral en ocasiones se vieron afectados, porque los encargados modificaban las condiciones tendiendo a minimizar el problema o bien no se opera

ban durante la medición las fuentes emisoras de ruido.

En todas las empresas ruidosas que se visitaron, se trató de que acudieran al examen audiológico y audiométrico todos los trabajadores expuestos al ruido, sin embargo esto se logró sólo en una de cada tres empresas. Hubo alguna en la que sólo acudieron al examen 5 atracajadores de 143 que fueron identificados como expuestos al ruido. En total, fue posible hacer el examen médico auditivo y audiométrico del 52% de los trabajadores que se observaron estaban expuestos a ruido en su trabajo.

8.3 EL ESTUDIO

Es evidente que durante el desarrollo de este trabajo muchos trabajadores con diversos padecimientos audiológicos nos fueron remitidos o llegaron en forma espontánea para que se les realizara examen.

Los resultados del estudio en cada empresa fueron hechos del conocimiento de los responsables de las mismas, junto con algunas recomendaciones para abatir o eliminar el ruido ocupacional.

Al principio, la medición de los niveles de presión sonora se hizo con un sonómetro Bruel and Kjaer Modelo 2203 y a partir de 1980 se trabajó con el sistema de investigación sonora Metrosonic. (23)

A 6 172 trabajadores se les han hecho exámenes médicos audiológicos y audiométricos, para lo cual se utilizó un audiómetro portátil Maico, Modelo Ma 20 y la ficha audiológica con audiometría.

En ausencia de cabina sonosmortiguadora los exámenes se hicieron en sitios que ofrecían las menores interferencias de ruido, dentro de las empresas,

El registro de la antigüedad de los trabajadores en la empresa que se estudiaba, señaló:

En el Grupo A, testigo:

100	tenían menos de 1 año
172	tenían de 1 a 5 años
91	tenían de 6 a 10 años
79	tenían de 11 a 20 años
33	tenían 21 años o más.

En el Grupo B con exposición media al ruido,

53	tenían menos de 1 año
159	tenían de 1 a 5 años
114	tenían de 6 a 10 años
91	tenían de 11 a 20 años
34	tenían 21 años o más.

En el grupo C, con exposición alta al ruido.

320	tenían menos de 1 año
1611	tenían de 1 a 5 años
1211	tenían de 6 a 10 años
1404	tenían de 11 a 20 años
700	tenían 21 años o más.

De los 6 172 trabajadores examinados, 4 317 (69.94%) quedan comprendidos entre los 20 y los 40 años de edad: 3 941 (62.22%) tenían una antigüedad en el trabajo no mayor de 10 años; 1568 (25.40%) tenían de 11 a 20 años de antigüedad en el trabajo y sólo 760 (12.31%) de los trabajadores tenían 21 años o más de antigüedad.

La exploración del conducto auditivo externo reveló:

2 trabajadores del Grupo B y 4 del C no tenían membrana timpánica; 16 trabajadores del Grupo A, 30 del Grupo B y 393 del Grupo C presentaron placas escleróticas. 2 trabajadores del Grupo A, 1 del Grupo B y 10 del Grupo C tenían perforada la membrana del tímpano; 19 trabajadores del Grupo A, 47 del Grupo B y 713 del Grupo C tenían obstrucción por tapón de cerumen.

La investigación de antecedentes indicó que 41 trabajadores del Grupo B 1207 del Grupo C, habían trabajado anteriormente en ambientes donde estuvieron expuestos a ruido.

Además de 33 trabajadores de la Dirección de Higiene y Saneamiento Ocupacional, se seleccionaron 442 trabajadores, en su mayoría administrativos de 11 de las empresas estudiadas para formar el grupo testigo de trabajadores no expuestos a ruido ocupacional (Grupo A).

451 trabajadores de 14 empresas, fueron seleccionados como grupo con mediana exposición al ruido laboral, considerando que las mediciones del nivel de presión sonora en los lugares de trabajo en estas empresas estaban por debajo de 90 dBA (Grupo B).

Finalmente, 5 246 trabajadores de 151 empresas fueron seleccionados como grupo con alta exposición a ruido laboral tomando en cuenta que las mediciones de nivel de presión sonora en los sitios de trabajo fueron de 90 o más dBA (Grupo C).

En el examen médico audiológico de los trabajadores, se incluyó audiometría y en base a los resultados de esta prueba, tomando en cuenta las condiciones en las que se realizó el examen, se determinó que si el umbral auditivo en cualquier oído era de 30 dB o más para la frecuencia de 4 000 Hertz, el trabajador era afectado de traumatismo acústico o hipoacusia ocupacional.

Por lo que respecta a la edad de los trabajadores:

En el Grupo A o testigo.

27	eran menores de 20 años
237	tenían entre 20 y 30 años
113	tenían de 31 a 40 años
58	tenían de 41 a 50 años y
40	tenían 51 años o más.

En el Grupo B o con exposición media al ruido.

60	eran menores de 20 años
218	tenían entre 20 y 30 años
100	tenían de 31 a 40 años
49	tenían de 41 a 50 años y
24	tenían 51 años o más.

En el Grupo C o con exposición alta al ruido'

159	eran menores de 20 años
2013	tenían entre 20 y 30 años
1636	tenían de 31 a 40 años
914	tenían de 41 a 50 años y
524	tenían 51 años o más.

En 6172 trabajadores, un total de 3207 (51.96%) trabajadores fueron encontrados con hipoacusia ocupacionales o de otra etiología.

Parece que el traumatismo acústico afecta a trabajadores de los tres grupos; sin embargo, se observa que las tasas obtenidas se incrementan proporcionalmente con los mayores niveles de presión sonora medidos en el ambiente laboral y también con el mayor tiempo de exposición de trabajadores.

8.4 RESULTADO DE LA INVESTIGACION

De acuerdo con los resultados obtenidos, del total de 6 172 trabajadores que fueron examinados y excluyendo a 396 que en el examen presentaron hipoacusia de etiología no ocupacional, tuvimos:

En el grupo de 465 trabajadores no expuestos a ruido laboral (Grupo A), 84 de los trabajadores examinados (16.1%) presentaron curvas de traumatismo acústico.

De los 5 311 trabajadores expuestos a ruido de mediano o alto nivel de presión sonora (Grupo B y C), 2 710 examinados (51%) presentaron curvas audiométricas de traumatismo acústico.

En el grupo de 434 trabajadores expuestos a ruido promedio de menos de 90dBA en su trabajo (Grupo B), 91 trabajadores (21%) presentaron curvas de traumatismo acústico.

Finalmente en el grupo de 4877 trabajadores expuestos en su trabajo a ruido promedio de 90 dBA o más (Grupo C), 2 619 trabajadores (53,7%) presentaron curvas de traumatismo acústico.

Es evidente que aún en los trabajadores no expuestos a ruido laboral se encuentran curvas de traumatismo acústico que pudieran corresponder a exposición laboral previa o bien que la causa esté en la exposición al ruido urbano o doméstico.

De acuerdo con los resultados, parece ser que el nivel de presión sonora máximo permisible para los trabajadores expuestos a ruido en su trabajo se haya a la jo de los 90 dBA, ya que el grupo expuesto a este nivel o mayor presentó elevada tasa de traumatismo acústico.

Los antecedentes de acúfeno, traumatismo craneal y otorrea fueron considerables en los trabajadores expuestos al ruido.

Se encontraron afectados de traumatismo acústico o hipoacusias de diversa índole en los 475 trabajadores del Grupo A, 94 (19,78%), en los 454 del Grupo B, 108 (23,94%) y en los 5246 trabajadores del Grupo C, 3005, (57,2%).

Agrupando a los trabajadores que presentaron traumatismo acústico o hipoacusias de diversa índole, según el grado de exposición y el tiempo de la misma, tenemos:

C U A D R O 3.1

	Grupo A	Grupo B	Grupo C
Antigüedad laboral actual.- Años.			
Menor de 1	100	53	320
de 1 a 5	172	159	1611
de 6 a 10	91	114	1211
de 11 a 20	79	91	1400
de 21 y más	33	34	700

Tuvieron al examen audiométrico
Traumatismo acústico o hipoacusia

67

		GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C
Menor de	1	17 (17.8%)	3 (5.7%)	94 (29.4%)
de	1 a 5	21 (12.2%)	22 (13.8%)	640 (39.7%)
de	6 a 10	21 (23.1%)	26 (22.8%)	677 (55.9%)
de	11 a 20	21 (26.6%)	37 (40.7%)	990 (70.5%)
de	21 y más	14 (42.4%)	20 (58.8%)	604 (86.3%)

Prevalció el traumatismo acústico bilateral al unilateral en una proporción ligeramente superior de 3 a 1 (76%).

En el grupo testigo, 10 trabajadores presentaron hipoacusias de etiología diferente a la ocupacional, en el grupo de trabajadores medianamente expuestos al ruido 17 presentaron hipoacusias de etiología no relacionada con la ocupación y finalmente en el grupo de trabajadores altamente expuestos a ruido ocupacional, 369 presentaron audiometría de etiología no ocupacional.

En 28 empresas fue posible hacer un segundo examen audiométrico a 723 trabajadores, cuyo resultado inicial fue de traumatismo acústico. En la segunda vez, fue condición que estuvieran un mínimo de 24 horas sin exposición al ruido ocupacional. El resultado fue que 84 trabajadores recobraron la normalidad de su examen audiométrico y 639 continuaron presentando curva audiométrica de traumatismo acústico.

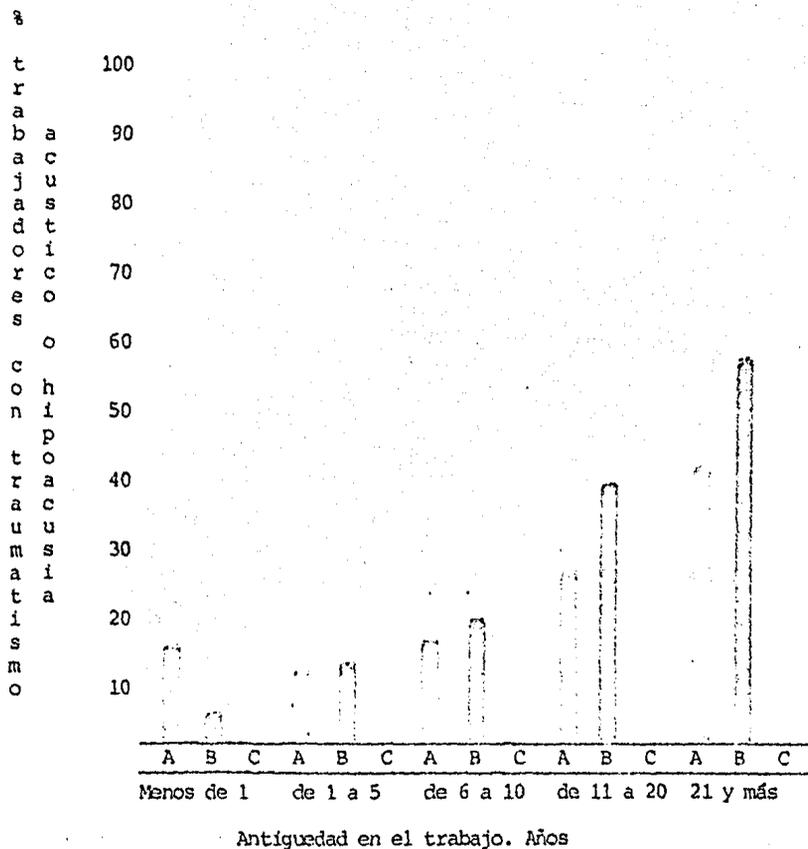
RELACION DE EMPRESAS ESTUDIADAS A PARTIR DE NOVIEMBRE DE 1977

GIRO INDUSTRIAL

1.	INDUSTRIA TEXTIL	20
2.	FABRICACION DE PRODUCTOS METALICOS	59
3.	IND. DEL VESTIDO, CALZADO Y ART. MANUFACTURADOS CON TEXTILES	8
4.	FABRICACION DE METALES BASICOS	1
5.	APARATOS, ACCESORIOS Y MATERIALES ELECTRICOS	15
6.	INDUSTRIAS QUIMICAS Y DERIVADOS	12
7.	PRODUCCION DE ALIMENTOS	9
8.	PRODUCCION DE BEBIDAS	4
9.	INDUSTRIA DEL TABACO	1
10.	FABRICACION DE MUEBLES DE MADERA	1
11.	FAB. DE PAPEL Y PRODUCTOS DE PAPEL	1
12.	FAB. DE ARTEFACTOS DE HULE	1
13.	FAB. DE PRODUCTOS MINERALES NO METALICOS	6
14.	MANUFACTURAS DIVERSAS	25
15.	DIRECCION DE HIGIENE Y SANEAMIENTO OCUPACIONAL, S.S.A.	1
T O T A L		<u>166</u>

TRAUMATISMO ACUSTICO E HIPOACUSIAS

ESTUDIO DE 6172 TRABAJADORES



- A.- 475 trabajadores. Grupo testigo, no expuesto a ruido laboral
- B.- 451 trabajadores. Grupo expuesto a ruido menor de 90 dBA.
- C.- 5246 trabajadores. Grupo expuesto a ruido de 90 dBA o más.

RESULTADOS DE EXÁMENES MÉDICOS AUDIOLOGICOS Y AUDIOMETRICOS DE TRABAJADORES
TESTIGO (A) CON MEDIANA (B) Y ALTA (C) EXPOSICION AL RUIDO LABORAL (23)

	A	B	C
Número de empresas	12 (24)	14	151
Total. Trabajadores	475	451	5246
Trabajadores con traumatismo acústico e hipoacusias diversas	94 (19,78%)	108 (23,94%)	3005 (57,28%)

Edad Trabajadores

Años		A	B	C
Menores de	20	27	60	159
	20 a 30	237	218	2013
	31 a 40	113	100	1636
	41 a 50	58	49	914
	51 y más	40	24	524

Antigüedad en el trabajo

Años		A	B	C
Menos de	1	1100	53	320
	1 a 5	172	159	1611
	6 a 10	91	114	1211
	11 a 20	79	91	1404
	21 y más	33	34	700

Exploración

S/Membrana timpánica	0	2	4
Placas esclerosis	16	30	393
Perforación	2	1	10
Tapón de cerumen	19	47	713

Antecedentes

Otorrea	44	34	503
Trauma craneal	52	54	587
Cefaleas	1	-	30
Acúfenos	74	220	3194
Exposición a ruido anterior	41	60	1207
Uso constante protec. audit.	3	0	407

23: Estudio efectuado por: Dra. Elsa Bermúdez y Dr. R. Quiroz.

24. Incluyendo la Dirección de Higiene y Saneamiento Ocupacional, S.S.A.

CAPITULO 9

RESULTADOS DE LAS INVESTIGACIONES Y PRACTICAS DE MEDICIONES EFECTUADAS EN LOS HANGARES DE MANTENIMIENTO DE AEROMEXICO

9.1 INTRODUCCION

Uno de los problemas más severos y comunes en los mecanismos de ruido industrial, está representado por la salida de gases a presión, como lo son las toberas de escape en las turbinas de gas y vapor, válvulas y descargas de aire en los sistemas neumáticos.

Por el nivel de ruido que emiten los motores propulsores del equipo de vuelo DC-10, y básicamente por las facilidades otorgadas para la realización de esta -- práctica seleccionamos a la flota de Aeroméxico.

Citaremos a continuación las características más importantes de los motores CF6-50 General Electric:

- Mas de 11 200 000 de horas de vuelo.
- Bajos costos de mantenimiento.
- 57 estaciones de servicio en operación en el mundo.
- 62 aerolíneas emplean motores CF6-50
- 365 Aeronaves Comerciales son impulsadas por estas turbinas de las que podemos citar a:

MODELOS	COMPAÑIAS CONSTRUCTORAS
DC-10-15	McDonnell Douglas.
DC-10-30	Mc Donnell Douglas.
747-200	Boeing
A-300	Airbus

Los factores que consideramos en estas mediciones son los siguientes:

Velocidad de respuesta (decibelímetro)	Lenta
Velocidad del viento	2,2 m/seg.
Vientos dominantes	Este-Sureste
Humedad relativa	30 %
Temperatura bulbo seco	27,1°C
Temperatura bulbo húmedo	15,0°C
Potencia del motor	Parcial a 20,6 %

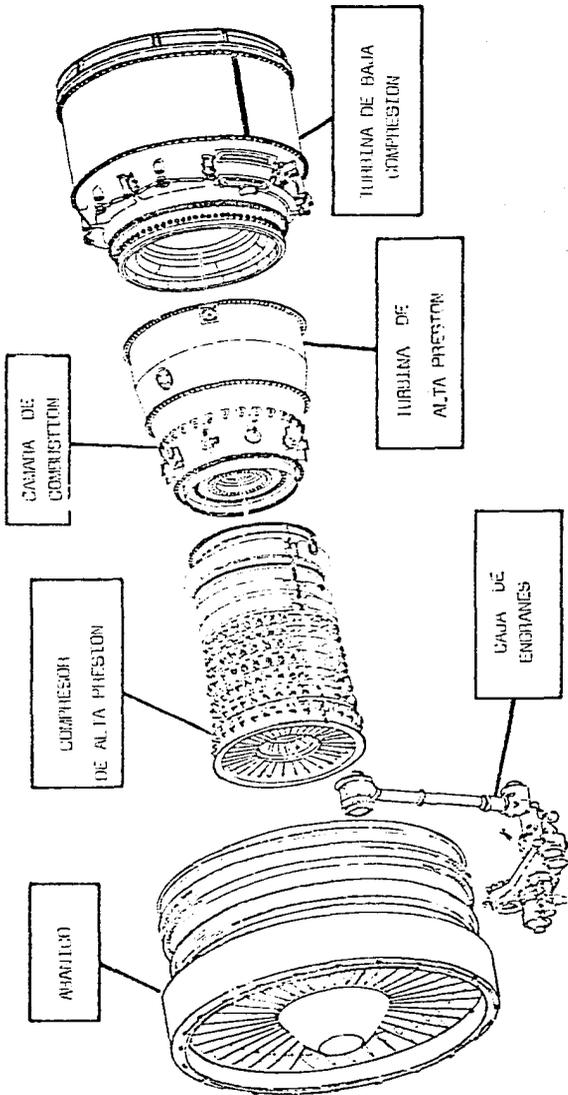
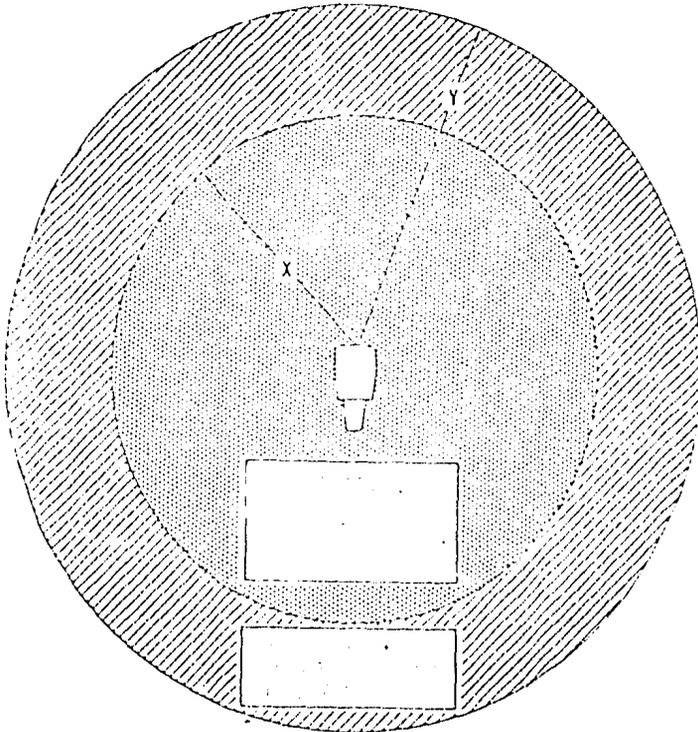


FIGURA 10.1 Principales componentes de motores CF6-50 General Electric (25)

25. Obtenida de los manuales de mantenimiento "General Electric Maintenance Manual CF6-50".

Radios de Peligro del Motor CFS-50



Indicador de Peligro	Radio (X)	Radio (Y)
Radio prohibida Hidrocarb. Volátiles	75 pies	100 pies
Motor a 1,800 r.p.m. con el freno de avión	100 pies	500 pies
Operación al Despegue	100 pies	1,400 pies

FIGURA 10.2 (26)

ZONAS DE PELIGRO DE MOTORES CF6-50 DURANTE REPARACIONES Y VERIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO

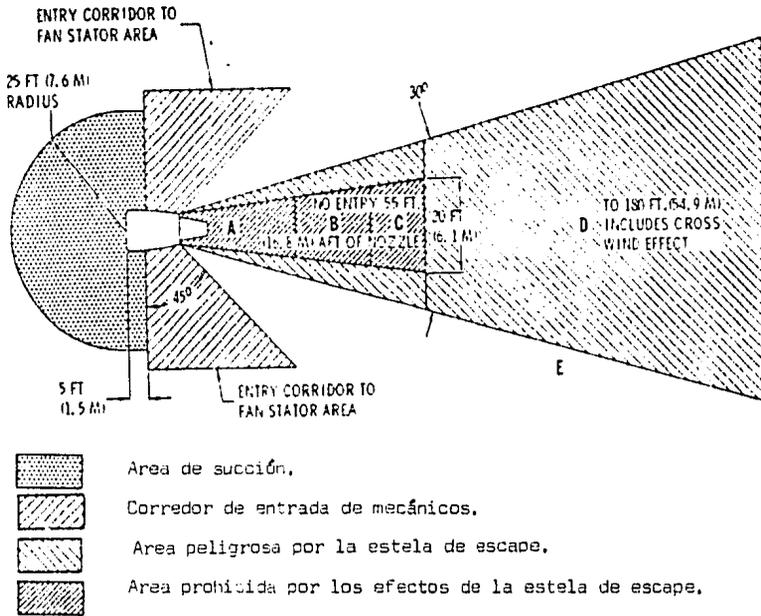


FIGURA 10.3

Nota: Todas las unidades en paréntesis son métricas y en el cuadro siguiente se explican los efectos de la fuerza del viento en estas áreas.

AREA	VELOCIDAD DEL VIENTO M.P.H. (Km/h)	EFFECTOS EN LA ZONA DE PELIGRO REFERIDOS POR "RADIOLOGICAL DEFENSE" VOLUMEN II ARMED FORCES SPECIAL WEAPONS PROJECT.
A	210-145 (338 - 233)	Una persona puede ser arrancada y lanzada de su lugar, un avión puede ser dañado seriamente, una casa de mampostería es completamente destruida.
B	145-105 (233 - 169)	Un hombre puede ser arrancado y lanzado de su lugar, destrucción total de construcciones industriales daños severos a estructuras de acero.
C	105-65 (169 - 105)	Daños moderados a estructuras provisionales de acero y en transportes de carga y equipos.
D	65-20 (105 - 32)	Daños a transportes y equipos de mantenimiento.
E	20 (32)	Area fuera de peligro.

El cuadro de lecturas resultantes es mostrado a continuación, en donde se deberá resaltar la permanencia máxima en minutos para los operadores y supervisores de mantenimiento en el corredor de acceso señalado anteriormente, que es el área permitida para todo el personal de tierra, por tanto se limitará a dar la información registrada en los lugares de permanencia autorizados.

DISTANCIA ENTRE EMISOR Y RECEPTOR	LECTURAS REGISTRADAS	PERMANENCIA MAXIMA	AREAS INDICADAS
1,5 m.	108 dB	60 minutos	1
3.0 "	107 "	60 "	2
6.0 "	106 "	60 "	3
7.5 "	105 "	60 "	4

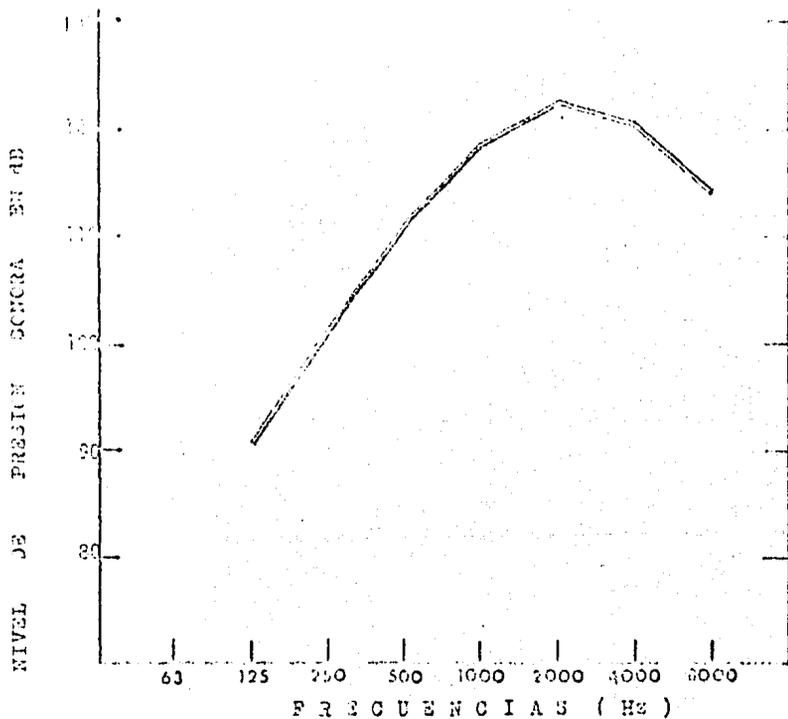


FIGURA 10.1 Espectro de ruido encontrado en las turbinas CF6-50 General Electric, en las mediciones efectuadas en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

El espectro de nivel sonoro característico en este tipo de fuentes de ruido, indica que la mayor intensidad sonora se encuentra entre los 1000 y los 8000 Hz.

CAPITULO 10

GUIA PARA LA CONSERVACION DE LA AUDICION EN MEDIO RUIDOSO
(INDUSTRIA)

10.1 INFORMACION BASICA ACERCA DE LA PERDIDA AUDITIVA Y LA EXPOSICION AL RUIDO.

Aunque todavfa hay mucho que aprender acerca de las relaciones entre las pérdidas auditivas y la exposición al ruido, se puede formular un programa para la -- conservación de la audición.

Esta información básica es la siguiente:

1. La exposición al ruido en forma repetida puede producir una pérdida auditiva -- permanente, que podrfa afectar la comunicación por medio del lenguaje.
2. La pérdida auditiva inducida por el ruido puede ser permanente, pasajera o una combinación de ambas.
3. La pérdida auditiva permanente inducida por el ruido es ocasionada por la des-- trucción de ciertas estructuras del oido interno que no pueden ser reemplazadas.
4. La cantidad de pérdida auditiva producida para una exposición dada, varfa de persona a persona.
5. La pérdida auditiva inducida por el ruido afecta primero la habilidad para oir sonidos cuya frecuencia es más alta que la de las frecuencias necesarias para -- la comunicación por medio del lenguaje. Por lo tanto, la mayorfa de las p rdi-- das auditivas inducidas por el ruido pasan inadvertidas al comienzo, a menos -- que sean localizadas por medio de pruebas audiométricas apropiadas.
6. Cuatro factores principales caracterizan la exposición al ruido:
 - a) Nivel de conjunto del ruido.
 - b) Composición del ruido.
 - c) Duración y distribución de la exposición, durante un dfa t pico de trabajo.
 - d) Tiempo total de exposición durante los años de trabajo del individuo.
7. La capacidad auditiva del ser humano y la exposición al ruido pueden ser medi-- das fielmente por personal competente y con los requisitos necesarios. (La medi-- da y valoración de ruidos de impacto, tales como los producidos por martillos, remachadores, etc., presentan problemas especiales).
8. Para que sea efectivo, un programa para la conservación de la audición debe in-- cluir:
 - a) Análisis de la exposición al ruido.
 - b) Medidas de control de la exposición al ruido.
 - c) Medición de la audición.

10.2 INDICADORES DE LA NECESIDAD DE UN PROGRAMA PARA LA CONSERVACION DE LA AUDICION

La iniciación de un programa para la conservación de la audición debe ser con--

siderada siempre que los individuos presenten:

1. Dificultad para la comunicación por medio del lenguaje cuando están en medio del ruido.
2. Sensación de ruido en la cabeza o en los oídos, después de varias horas de trabajo en medio ruidoso.
3. Una pérdida auditiva que tiene el efecto de amortiguar el lenguaje y otros sonidos después de varias horas de exposición al ruido. (Esta pérdida auditiva es pasajera y generalmente desaparece en horas o en un poco más).

La ausencia de dolor no indica ausencia de pérdida auditiva; se produce dolor en el oído cuando el nivel del ruido es del orden de 130 dB; sin embargo, la pérdida auditiva inducida por el ruido puede ser producida por ruidos de intensidad mucho menor. Por lo tanto, el dolor y el malestar no son indicadores válidos de una pérdida auditiva potencial producida por el ruido, y la decisión para iniciar un programa para la conservación de la audición no debe estar influida por la ausencia o presencia de éstos síntomas.

En última instancia, el análisis de la exposición al ruido, es la única forma completamente satisfactoria de establecer la necesidad de un programa para la conservación de la audición.

10.3 ESQUEMA DE UN PROGRAMA PARA LA CONSERVACION DE LA AUDICION

1. Análisis de la exposición al ruido.

Las exposiciones al ruido se analizan en términos de:

- a) Nivel de conjunto.
- b) Composición del ruido.
- c) Duración y distribución de la exposición durante un día típico de trabajo.
- d) Tiempo total de exposición durante los años de trabajo del individuo.

La medición de cada uno de los cuatro factores de la exposición al ruido es importante para la conservación de la audición. Aún cuando ruidos diferentes tengan el mismo nivel de conjunto, su composición puede diferir considerablemente (a tal punto que uno puede producir pérdida auditiva permanente, mientras el otro no la produce). Por otro lado, los efectos auditivos de una continua exposición al ruido son diferentes de los efectos de una exposición intermitente al mismo ruido.

2. Control de la exposición al ruido.

La exposición al ruido puede ser reducida por medio de:

a) Control del ambiente.

- Reduciendo la cantidad de ruido producido por la fuente.
- Reduciendo el ruido transmitido a través del aire o las estructuras del edificio.
- Revisando los procedimientos de diseño y operación.

b) Por medio de la protección personal.

El método más satisfactorio de control ambiental de la exposición al ruido es por medio del control del ruido en su origen, lo que — desafortunadamente no es siempre posible. Cuando la cantidad de ruido producido por la fuente no pueda reducirse suficientemente, se puede requerir una combinación de métodos de control para conservar la audición.

3. Medición de la audición.

Un programa para la conservación de la audición debe incluir:

- a) Pruebas auditivas previas al ingreso en el trabajo.
- b) Pruebas auditivas periódicas de control.

Estos exámenes auditivos constituyen la parte más importante de un programa de conservación de la audición. Suministran un registro de estado inicial de la audición de un empleado y hacen posible seguir cualquier cambio subsiguiente en su capacidad auditiva. Los exámenes de ingreso y de control periódico ayudan a identificar los sujetos que pueden ser muy susceptibles a pérdidas inducidas por el ruido. Los resultados de estas pruebas demostrarán además, si el programa de conservación es o no efectivo.

Incluso cuando la exposición al ruido no es suficiente como para justificar un programa de conservación, es conveniente practicar exámenes auditivos sistemáticos como parte del examen médico de rutina.

RESUMEN Y CONCLUSIONES EN EL CONTROL DEL RUIDO INDUSTRIAL

- 1.- Para las máquinas y los equipos pesados, que produzcan vibraciones y ruidos intensos, se recomienda anclarlos sobre bases rígidas y pesadas, con su propia estructura de soporte, que no hagan contacto con el piso ni con el resto de la estructura del edificio.
- 2.- Para las máquinas y los equipos de mediano peso, puede optarse por la recomendación anterior o por montarlos sobre materiales o estructuras de amortiguación de vibraciones, anclándolas sobre bases rígidas.
- 3.- Para las máquinas y los equipos ligeros, como las unidades remachadoras o las motocompas, se recomienda al montaje sobre bases rígidas de peso proporcional y sobre materiales o estructuras de amortiguación de vibraciones.
Evitar en lo posible que se monten sobre la maquinaria o equipo de mayor tamaño, o sobre construcciones ligeras, pues esto puede originar mayor vibración e intensificar el ruido.
- 4.- Para muchas fuentes generadoras de ruido, se recomienda que estén rodeadas con construcciones que proporcionan aislamiento de sonido para el local de trabajo donde los trabajadores puedan estar expuestos.
- 5.- Las áreas ruidosas pueden disminuir su nivel de ruido instalando en techos y paredes materiales apropiados para absorber sonidos.
- 6.- Alrededor de los puestos de trabajo donde se realicen operaciones muy ruidosas se sugiera colocar mamparas absorbentes del sonido.
- 7.- Establecer de manera permanente un programa de mantenimiento preventivo que incluya reposición periódica de partes desgastadas; revisión de elementos o sistemas de anclaje y fijación de máquinas, equipos, conexiones, tubería, ductos, etc., lubricación de todas las partes en movimiento; así como la vigilancia y conservación de los dispositivos o estructuras instaladas para el control de ruido.
- 8.- Cuando las tareas puedan ejecutarse a control remoto, se recomienda el aislamiento de los trabajadores en cuartos o cabinas separados del ambiente ruidoso.
- 9.- Los materiales absorbentes del ruido son los que tienen las características de ser porosos, flexibles, con amortiguamiento interno alto. Entre estos materiales se tiene el fieltro, el hule espuma, la espuma plástica, las fibras naturales y artificiales, los cartones con determinadas estructuras, etc.

- 10.- Las superficies de maquinarias o equipos que vibran y emiten ruidos deben ser recubiertas, en parte o en toda la extensión de su área, según lo requieran para disminuir la vibración y el ruido, con los materiales absorbentes recomendados.
- 11.- Se recomienda el recurso del encerramiento para las maquinarias y equipos cuya generación de ruido no ha podido ser controlada en otra forma. Los encerramientos deben tener una estructura base de material denso, como la madera comprimida, en el interior debe recurrirse de materiales absorbentes del ruido; debe proveerse ventilación para la maquinaria o equipo que desprenda calor en su operación, la ventilación debe darse a través de silenciadores, así como entradas de aire, los escapes o cualquier otra conexión que lleven.
- 12.- Cuando el flujo de fluidos por las tuberías produzca ruido, se recomienda para atenuarlo, disminuir la turbulencia del fluido, y fijar las tuberías adicionando a las abrazaderas o ganchos que las sostienen, materiales flexibles amortiguadores de las vibraciones.
- 13.- Se recomienda usar transportadores de banda, que son más silenciosos que los de baleros, en los casos en que así sea apropiado para el manejo de materiales.
- 14.- Se recomienda reducir la altura de caída de los materiales, objetos o piezas, de los transportadores a las cajas donde se colectan y si es posible adicionar láminas flexibles de hule o plástico en el trayecto de su caída para amortiguarla, y en consecuencia disminuir la intensidad del ruido.
- 15.- Cuando se compran motores eléctricos, transmisiones o maquinarias y equipos en general, es recomendable tomar en cuenta como una razón importante en su selección, el rango de ruido que producen y escoger los más silenciosos.
- 16.- Se recomienda instalar silenciadores sencillos en los escapes de las válvulas neumáticas; en los ductos de los sistemas de ventilación, cerca de los ventiladores ruidosos; en las tomas de aire de los compresores o en cualquier parte donde una apertura y el flujo de aire o gases, que a través de ella circulan, sean los causantes del ruido.
- 17.- Se recomienda instalar cámaras de expansión con escapes y silenciadores - en el cuerpo de las herramientas neumáticas, para atenuar la generación de ruido.
- 18.- Se recomienda instalar, en los equipos con motores muy ruidosos, sistemas aislantes o absorbentes de ruido en las superficies inmediatas a los motores.
- 19.- Para los motores deben seleccionarse transmisiones que permitan la regulación de la velocidad de rotación en forma más suave y silenciosa.

- 20.- Se recomienda cambiar las bandas anchas por su equivalente en bandas angostas con separadores en las poleas, que al reducir la superficie de vibración disminuyen el ruido durante su operación.
- 21.- Se recomienda instalar aislantes de vibraciones en las bases de los motores, bombas y equipos en general que sean focos de emisión de ruidos.
- 22.- Para evitar la reflexión del sonido procurar que las maquinarias y los equipos ruidosos se instalen lo más alejados posible de las paredes y techo.
- 23.- Evitar el uso de los chorros de aire ruidosos. Cuando se usan para enfriamiento es recomendable sustituirlos con sistemas que sean silenciosos. Cuando se usan para limpieza de partes o equipos se recomienda hacerlo con boquillas especiales de doble escape, que atenuan la generación de ruidos, y además rodear esta operación con mamparas absorbentes de ruido.
- 24.- Para prevenir o reducir el ruido que se produce por el impacto entre las partes en movimiento de las maquinarias o los equipos, se recomienda adoptar una o varias de las siguientes medidas:
 - Reducir un poco su velocidad.
 - Acortar las partes que golpean.
 - Sustituir las partes metálicas por materiales plásticos.
 - Recubrirles con este mismo material.
 - Cambiar la dirección o el tipo de movimiento.
- 25.- Se recomienda reducir la velocidad de los cambios en las maquinarias o los equipos para que los arranques, las paradas, los cambios de velocidad, los movimientos hacia adelante y hacia atrás y otros se realicen con suavidad y produzcan menos ruido.
- 26.- Se recomienda cambiar las láminas que vibran y producen ruido por placas o tableros de láminas perforadas o por mallas de alambre que producen menos, especialmente en las grandes protecciones que se instalan para volantes, bandas o poleas.
- 27.- Se recomienda aislar, por encerramiento, las partes de las maquinarias y los equipos que sean especialmente ruidosos y que no pueden evitarse por otros medios. Esto es muy común y factible en los puntos de operación, como el de la máquina remachadora donde está el martillo.
- 28.- En zonas donde se trabaje en contacto directo con el ruido, se recomienda utilizar, bajo supervisión médica, los mecanismos de protección auricular existentes en el mercado más apropiados a las necesidades de trabajo y del operario.

- ABSORCION** Propiedad de algunos materiales, que son capaces de neutralizar algunos efectos o fenómenos.
- ABSORCION DEL SONIDO.** Es el cambio de la energía sonora en alguna otra forma de energía (usualmente calor) al pasar de un material a otro o al chocar la energía contra una superficie. La unidad de absorción de sonido es la equivalencia de lo que puede absorber un metro cuadrado de ventana abierta hacia el aire libre con respecto a lo que pudiera absorber un material determinado con su misma superficie.
- ACELERACION** Variación de la velocidad con respecto del tiempo.
- ACUFENOS** Se presenta en el oído que produce cierto tipo de sonidos que no obedecen a señales acústicas y se deben a las alteraciones de la presión - sanguínea que irrigan el oído y constan de sursidos y silbidos.
- AGLOMERADO** Agregación natural de sustancias minerales.
- AISLAMIENTO SONORO** Es la resistencia que opone un material a transmitir el sonido entre un lado y otro del mismo; y generalmente está en función de la masa y de la inercia. Se mide normalmente en decibales y depende del coeficiente "T" de transmisión de cada uno de los materiales.
- AMORTIGUACION** Variación de la velocidad con respecto del tiempo.
- ANALISIS ESPECTRAL DE RUIDO** Estudio de las frecuencias componentes de un ruido.
- ANALIZADOR DE OCTAVAS DE BANDA** Cuando es complejo el ruido que se ha de medir y consiste de un gran número de tonos diseminados en muchas octavas, -- con frecuencia el valor que se obtiene con un sonómetro no es suficiente para nuestros propósitos, puede ser necesario determinar la -- distribución de presión del sonido de acuerdo a la frecuencia. El analizador más práctico y más ampliamente usado es el analizador de octavas de banda, en el que como su nombre lo indica, el corte superior de la frecuencia de cada banda es el doble del corte inferior de la frecuencia.
- Las mediciones se pueden hacer en una octava o múltiplos de octava en el espectro completo con el segundo tipo de analizador. Las octavas de banda standard son 37,5-75, 75-150-300, 300-600, 600-1200-2400, -- 2400-4800 y 4800-9600 ciclos por segundo. En la actualidad hay la tendencia de cambiar ligeramente las octavas anteriores siguiendo las recomendaciones del United States of América Standards Institute y usar octavas con frecuencia centrales de 63, 125, 250-500, 1000-2000 y 4000-8000 ciclos por segundo.
- Tanto con el sonómetro como con el analizador de octavas de banda se necesita equipo de calibración. Los fabricantes de estos instrumentos tienen calibradores acústicos que generalmente consisten de un generador de señales de cierto tipo con un pequeño amplificador que se colo

ca sobre el micrófono. Estos calibradores proporcionan un medio de calibración de laboratorio y de campo.

- AUDIO FRECUENCIA Corresponde a cualquier frecuencia normalmente audible, la gama de audio-frecuencias aproximadamente es de 15 a 20 000 hz.
- BAR (bar) Unidad del Sistema Internacional Francia del CGS (centímetro, gramo, segundo), es la fuerza de 10 dina sobre un centímetro cuadrado, 10 dina/cm², dimensiones L⁻¹MT⁻².
- CALIBRAR Sinónimo de ajustar.
- CAMPO SONORO. Una región conteniendo ondas sonoras de interés.
- COMPRESOR RECIPROCANTE Son máquinas para comprimir aire o gas con movimiento alternativo.
- CONFINAR Acción de limitar, encerrar.
- CORCHO Es la corteza exterior del alcornoque. Es muy compresible, posee gran elasticidad permanente y es un excelente no conductor del calor, resistente al agua no es afectado por la humedad y es lento para arder, como piso es silencioso y antiderrapante.
- DEFLECCION Deformación que sufre un elemento en forma no permanente, pudiendo tomar formas cóncavas o convexas.
- DINA (din) Unidad del Sistema CGS (Centímetro, Gramo, Segundo) de fuerza, dimensiones L⁻¹MT⁻².
- DINAMICA Rama de la Mecánica, la cual se ocupa de estudiar las causas que originan el movimiento.
- ELASTOMERO Material con propiedades elásticas, material que recupera su forma original cuando deja de actuar la fuerza que modifica dicha forma.
- ELONGACION Aumento de la longitud de un miembro.
- ENERGIA SONORA La energía total en una parte dada en un medio, menos la energía existente en esa parte del medio cuando no hay ondas sonoras presentes.
- ESPECTRO SONORO Es la representación de la magnitud de los componentes de un sonido complejo, en función de las frecuencias.
- FIELTRO Tela hecha con lana o pelo abatanados.
- FRECUENCIA FUNDAMENTAL La frecuencia principal de un sistema oscilante.
- FRECUENCIA Número de ciclos entre la unidad de tiempo ciclos/segundo.

- FRICCIÓN** Sinónimo de rozamiento, la fuerza de fricción es siempre opuesta al movimiento o al intento de producirlo y es constante durante el movimiento.
- FRENTE DE ONDA** Es la superficie continua en movimiento de una onda sonora en la misma fase en un momento dado.
- GRADO DE LIBERTAD** En un acoplamiento de cuerpos rígidos es el número mínimo de variables que se requieren para especificar de manera única la configuración de este acoplamiento.
- HERTZ** La unidad de frecuencia ciclos/segundo.
- HIPOACUSIAS** Es una reducción de la capacidad de la audición que tienen su origen en:
1. Secuelas patológicas del oído.
 2. Exposición continua y severa a niveles altos de ruido.
 3. La edad, es decir que aumenta al avanzar la vejez.
- IMPERMEABLES** Son cuerpos constituidos por materiales que no permiten el paso de algunos elementos, como es el agua.
- INTENSIDAD SONORA (IL)** Es el promedio de la energía sonora transmitida en una dirección específica a través de la unidad normal de área en esa dirección.
- LONGITUD DE ONDA** Es la distancia perpendicular entre dos ondas frontales, que tienen una diferencia de un período completo (distancia entre cresta y cresta).
- LAMBRIN** Moldura que sirve para sellar perfectamente puertas, ventanas y puede ser de diversos materiales dependiendo de sus usos.
- MICROBAR** La unidad de presión comunmente usada en acústica $1 \mu\text{Bar} = 1 \text{ dyn/cm}^2 = 0.1 \text{ New/m}^2$.
- MEDICION** Efecto de determinar una cantidad comparándola con la unidad.
- NIVEL DE PRESION SONORA (SPL)** Es la presión total instantánea del sonido menos la presión estática en ese lugar.
- NEWTON (N)** Unidad del Sistema Internacional de Fuerza. Fuerza que comunica a un cuerpo que tiene una masa de 1 Kg , una aceleración de 1 metro por segundo cuadrado, dimensiones LMT^{-2} .
- ONDA PLANA** Una onda en la que la onda frontal está formada por planos paralelos normales a la dirección de propagación del fenómeno.
- OCTAVA** Intervalo entre dos frecuencias cuya relación es de 2 a uno. Así subir una octava significa doblar la frecuencia, bajar una octava significa reducir a la mitad la frecuencia original.

OMEGAS ABSORBEDORAS Cuando una instalación de tuberías por su uso presenta elongaciones y contracciones se emplea un tubo en forma de omega mayúscula el cual absorbe las deformaciones.

OSCILAR Crecer y disminuir alternativamente la intensidad de alguna manifestación.

PLASTICO EPOXICO Es una resina termo estable que se emplea para adhesivos, fibra de vidrio y revestimientos.

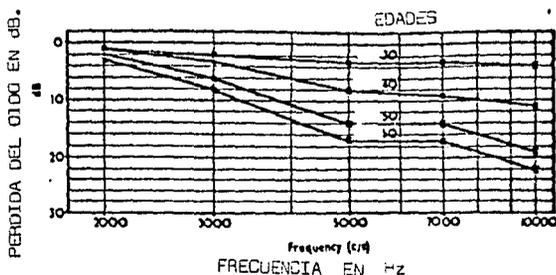
POLIETILENO Nombre comercial, Alathon, Hi-fax, Petrothene, es un plástico de bajo costo, baja fricción y bajo impacto de temperatura.

POLIURETANO Del grupo de los polimeros, también llamado termoplástico, es un material de alta densidad, tiene una resistencia a la tracción de 4400 - 1b/pulg².

POTENCIA SONORA (PWL) Es la energía sonora total cruzando una área específica en la unidad de tiempo.

PRECISION Cuando una magnitud es la misma después de repetir un experimento, una prueba (medición) se dice que el dato es preciso.

PRESBIACUSIA Es cuando el organismo humano va sufriendo alteraciones influidas por la edad (el proceso de envejecimiento) y estos se deben principalmente a la calcificación y pérdida de elasticidad en las fibras celulares. En la siguiente figura se muestran los niveles de pérdida del oído.



GRAFICA DE LA PERDIDA DE LA AUDICION POR LA EDAD

PULSACION Diferencial que se obtiene cuando las ondas sonoras de aproximadamente igual frecuencia se aplican simultáneamente al oído. Se aprecia como un aumento y disminución regular de la intensidad combinada. La pulsación como $W = 2\pi \times f$ (f es frecuencia).

PULVERIZACION Acción de reducir una cosa a polvo.

RESINAS Sustancia viscosa que fluye de varios árboles, como el abeto.

- RESONANCIA** Si a un cuerpo que se encuentra en reposo o vibrando con poca amplitud llegan ondas que tienen frecuencia igual a su frecuencia natural - de vibración, adquieren el movimiento vibratorio que les es característico, o bien aumenta la intensidad de éste; cuando esto sucede se dice que el cuerpo se encuentra en resonancia.
- RIGIDEZ** Característica de los materiales, las distancias relativas entre sus - puntos no varían.
- ROZAMIENTO** Resistencia debida al frotamiento.
- SENSIBILIDAD** Término general que expresa la relación entre la respuesta (en - tiempo y/o magnitud) a una fuerza de transmisión a su estímulo.
- SILENCIADOR** Los silenciadores del escape de los motores de combustión interna - son por lo general modificaciones del filtro acústico elemental de paso bajo, que comprende un tubo de paso al cual están acopladas cavidades cerradas a través de pequeños agujeros abiertos a intervalos a lo largo del tubo. Las estructuras típicas de esta clase producen poco in - cremento de la contratensión y una atenuación considerable de las on - das sonoras que tengan frecuencia superior a la de interrupción deter - minada por el tamaño de los agujeros y de las cavidades. Las empaqueta - duras porosas, tales como la viruta de acero, colocadas dentro de las - cavidades laterales o una irregularidad estudiada en el tamaño y sepa - ración de las cavidades aumentará la uniformidad en la supresión del - ruido.
- SOCIOACUSIAS** Son las alteraciones de tipo psicofísico en los individuos que es - tán en continua exposición al ruido urbano.
- TERCIAS DE OCTAVA DE BANDA** Divisiones hechas en el inter de frecuencias, el nú - mero de partes es 10 veces el logaritmo de la frecuencia central.
- TIMBRE** Sonido característico de una voz o instrumento.
- TIEMPO DE REVERBERACION** Es el tiempo en que un sonido, una vez que se ha suspen - dido su emisión, tarda en disminuir a través de las reflexiones de un recinto 60dB de su intensidad inicial o a la 10⁻¹ de su intensidad ini - cial.
- TONOS Puros** Una onda sonora de presión sonora instantánea, que es una función - senoidal en relación al tiempo.
- TRANSMISIBILIDAD** También llamado factor de amplificación y es debido a las con - diciones dinámicas del problema.
- TURBULENCIA** La turbulencia en un fluido es cuando el movimiento de las partícu - las es muy errático y se tiene un intercambio transversal de cantidad de movimiento muy intenso.

- UMBRAL Energía radiante incidente por debajo de la cual no existe efecto.
- VELOCIDAD DE PROPAGACION Es la velocidad a que la onda frontal viaja a través de un medio.
- VINILO Plástico rígido a bajas temperaturas, resistencia al clima, flexibilidad.
- WATT (W) Unidad del Sistema Internacional de Potencia, Julio/Segundo = Vatio, dimensiones $L^2 M T^{-3}$.

B I B L I O G R A F I A

FUNDAMENTALS OF INDUSTRIAL NOISE CONTROL

Lewis H. Bell

Harmony Publications P.O. Box 52 Trumbull, Conn. 06611

May, 1973

THE APPLICATION OF THE BRUEL & TJAER MEASURING SYSTEM TO ACOUSTIC
NOISE MEASUREMENTS

Jens Trampe Broch

Print: K. Larsen & Son, Denmark, July 1967.

O PROBLEMA DO RUIDO INDUSTRIAL E SEU CONTROLE

Groenewold Alexandry, Federico.

Fundacao Centro Nacional de Seguranca, Higiene e Medicina

do Trabalho, Sao Paulo, FUNDACENTRO, 1978, Serie Técnica, HS

DOUGLAS AIRCRAFT COMPANY

3855 Lakewood Boulevard, Long Beach, California 90846

(213) 593 5511 Mc Donnell Douglas Corporation

REGULACION SANITARIA 1985-1988

Programa Nacional de Salud

Dirección General del Control de la Contaminación

Laboral y Ocupacional

MAINTENANCE MANUAL CF6-50 ENGINE Adj/Test 000

General Electric Corporation

October 1, 1984.

LA INFLUENCIA DE LA ACUSTICA EN LA ARQUITECTURA

Carlos Castellanos Formento, Eduardo Saad Eljure

Escuela Nacional de Arquitectura de la

Universidad Nacional Autónoma de México