

18

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

**Fundamentos del Ruido y su
Evaluación en el Ambiente Laboral
de una Planta Industrial de
Absorción**

299458

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUÍMICO

P R E S E N T A
LÓPEZ JIMÉNEZ RÓMULO RUBÉN

DIRECTOR DE TESIS: ALEJANDRO TELLO MIRANDA

México D. F.

NOVIEMBRE DE 2001



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/521/01

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNO: LOPEZ JIMENEZ ROMULO RUBEN
P r e s e n t e.

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

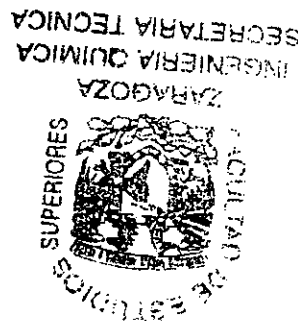
Presidente:	Fis. Mat. Javier Ramos Salamanca
Vocal:	Ing. Alejandro Tello Miranda
Secretario:	I.Q. Hugo Héctor Martínez Rojas
Suplente:	I.Q. Miguel Angel Varela Cedillo
Suplente:	I.Q. María del Rocío Luja Hernández

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A t e n t a m e n t e
“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”
México, D. F., 17 de Agosto del 2001.

EL JEFE DE LA CARRERA

I.Q. ARTURO E. MENDEZ GUTIERREZ



INDICE

1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
3. Anatomía y fisiología del oído	3
3.1. Clasificación y funcionamiento de la estructura del oído	3
3.1.1. Funcionamiento básico del oído	6
3.1.2. Lo que percibe nuestro oído	7
3.1.3. Como percibe nuestro oído	10
3.1.4. Ergonomía aplicada	10
4. Efectos del ruido	14
4.1. Efectos del ruido sobre el organismo	14
4.2. Efecto acumulativo en el hombre	14
4.3. Efectos de la exposición	15
4.4. Efectos auditivos	15
4.4.1. Trauma acústico agudo	15
4.4.2. Trauma acústico crónico	17
4.5. Efectos extra-auditivos	19
4.6. Efectos en el trabajo	20
4.7. Daños en el oído	20
4.8. Presbiacusia	21
5. Física del sonido	22
5.1. Como se propaga la onda sonora	22
5.2. Magnitudes fundamentales	24
5.3. Algunas propiedades acústicas importantes	25
5.4. Clasificación de las fuentes según su geometría y tamaño relativo	26
5.4.1. Fuentes planas	26
5.4.2. Fuente puntual	26
5.4.3. Fuente lineal	28
5.5. Seguimiento del sonido generado	30
5.5.1. Reflexión de campos sonoros en recintos confinados	30
5.5.2. Absorción	31
5.5.3. Transmisión y difracción	31
5.6. Propagación del sonido	35
5.6.1. Sonidos en gases y líquidos	35
5.6.2. El sonido en los cuerpos sólidos	38
5.7. Reflexión en superficie límite	42
5.8. Absorción del sonido	47
6. Ruido en la construcción	49

7.	Bases para la realización de estudios de evaluación	56
7.1.	Justificación de la necesidad de medidas acústicas	56
7.2.	Recomendaciones generales	57
7.3.	Límites aceptables de ruido industrial	58
7.3.1.	Las audiometrías	59
8.	Medida y evaluación de ruido	61
8.1.	Equipos de medición	61
8.1.1.	Medidores de impacto	63
8.2.	Medidores de nivel de presión sonora	64
8.2.1.	Sonómetro integrador	64
8.2.2.	Redes de ponderación de frecuencia	64
8.3.	Analizadores de frecuencia	66
8.4.	Micrófonos	66
8.5.	Dosímetros	69
8.6.	Curvas isonivel (mapas de ruido)	72
8.7.	Silenciadores	73
8.8.	Blindaje acústico	73
8.9.	Encapotados	76
9.	Protección contra ruido	79
9.1.	Normas técnicas	79
9.2.	Técnicas de motivación para el uso de protectores auditivos.	81
10.	Estudio de ruido en una planta industrial de absorción	84
10.1.	Objetivos del estudio	84
10.2.	Descripción de los instrumentos de medición empleados	84
10.3.	Procedimientos	85
10.4.	Planos	85
10.5.	Cálculos y resultados	94
10.6.	Dosimetría	112
10.7.	Observaciones.	114
10.8.	Recomendaciones	115
10.9.	Recomendaciones generales.	116
10.10.	Conclusiones	117
11.	Símbolos empleados	118
12.	Bibliografía.	120

A mis padres

*Epifanía Jiménez Nicolás
Francisco López Morales*

*Mis Hermanos
En especial a
Sabina López Jiménez*

*Reconocimiento por su apoyo firme y desinteresado,
quienes supieron forjar con su ejemplo, mi formación
Personal y Profesional.*

Gracias

Un poco de aprendizaje puede resultar peligroso, por eso es más seguro obtener una buena cantidad

Todos los daños y las enfermedades relacionadas con el trabajo pueden prevenirse nada es más importante que la integridad del trabajador.

Un poco de aprendizaje puede resultar peligroso, por eso es más seguro obtener una buena cantidad

Todos los daños y las enfermedades relacionadas con el trabajo pueden prevenirse nada es más importante que la integridad del trabajador.

1. INTRODUCCIÓN

Ciertos riesgos industriales son ambientales, por que el riesgo particular se crea por la misma naturaleza del trabajo, el ruido es uno de ellos.

El ruido no es un problema nuevo en la industria, se ha encontrado en ella por largo tiempo sin embargo el reconocimiento de que la pérdida del oído debido al trabajo en un ambiente industrial ruidoso es una enfermedad ocupacional es reconocido reciente mente por las autoridades en el ambiente laboral, por lo que se ha enfocado la atención sobre el estudio de ruido industrial el cual en nuestro país es regulado por las Normas Oficiales Mexicanas de la Secretaria del Trabajo por medio de las NOM-011-STPS-1993 y la NOM-080-STPS-1993, NOM-081-ECOL-1994.

La pérdida de la sensibilidad auditiva no se puede reconocer inmediatamente como un daño, por lo general, se desarrolla como resultado de una exposición prolongada por esto, ha llegado ha ser necesario que los trabajadores expuestos a niveles elevados de ruido tengan permanencia restringida a estas áreas y en casos necesarios hacer uso obligatorio de los protectores auditivos para evitar los problemas de ruido, de la misma manera familiarizar al trabajador de las consecuencias, los efectos y los métodos para su dominio.

El ruido es un sonido indeseable, como todos los sonidos se produce como resultado de una fuente en vibración, que produce variaciones en la presión atmosférica normal. Las variaciones de la presión del aire entran al oído en ondas que producen la sensación de sonido.

Por otro lado se ha logrado la producción de materiales, dispositivos, técnicas y procedimientos que permiten solucionar en forma satisfactoria prácticamente cualquier problema de exposición a este agente en el ambiente laboral, lo que afirma la viabilidad de la prevención en materia de riesgo de trabajo generados por la producción de ruido.

Es importante hacer hincapié en que, igual que cualquier otro programa racional de prevención de riesgo de trabajo, el ruido precisa la integración de equipos formados por especialistas de múltiples disciplinas, respetando sus ámbitos particulares pero coordinando sus esfuerzos en el mismo sentido, para lo que es indispensable tener una visión integral del problema y sus posibles soluciones, así como de la participación de cada uno de los elementos del equipo.

Se realizó un estudio de ruido en una planta de absorción en el se contempla los niveles de presión sonora que prevalecen en las instalaciones de la planta de absorción, asimismo el análisis de frecuencia en áreas que tienen nivel sonoro continuo equivalente (NSCE) mayor de 90 dB(A), y también de los resultados de la dosimetría aplicada a los operadores seleccionados en las distintas áreas de este centro de trabajo y, se hacen recomendaciones para la reducción de los niveles altos de ruido.

2. ANTECEDENTE

Entre los problemas del medio ambiente provocados por la civilización industrial, el ruido es el primero que hizo su aparición y en la actualidad se encuentra entre los contaminantes que más invaden el ambiente. Sin embargo, sólo en los últimos quince años la preocupación por el ruido como agente contaminante y dañino lo ha llevado a que se tomen medidas de prevención y a su estudio para evitar daños en los trabajadores de la industrial.

Primero y esencialmente, desde una perspectiva biomédica, en busca de impactos fisiológicos y psíquicos sobre el ser humano. Simultáneamente a este desde una perspectiva tecnológica, la búsqueda de mecanismos técnico-económicos que permitan la reducción de ruido en los artefactos de los que los humanos nos rodeamos y, luego desde una perspectiva jurídica a la búsqueda de la definición de umbrales admisibles, con el fin de adaptar las políticas locales o laborales

Ruido es el sonido (o conjunto de sonidos) inarticulado y confuso más o menos fuerte. Esto preocupa a los ingenieros industriales, pues en sus máquinas aparece de modo permanente, pudiendo afectar incluso a su funcionamiento. Pero se asumía que no puede reducirse por debajo de ciertos límites, y que un buen diseño sólo asegura un funcionamiento eficaz en presencia de ese ruido irreducible.

Se sabía también que tiene una influencia importante en el hombre, lo han corroborado los neurólogos modernos, que afirman que los sonidos suponen el 70% de los estímulos que recibe el cerebro. Sólo podemos tocar una cosa a un tiempo con conciencia del tacto (dos como máximo, y con dificultad, si usamos las dos manos), y únicamente podemos mirar en una dirección, mientras que nuestros oídos captan sonidos en todas direcciones.

Ahora entendemos el ruido como un sonido carente de cualidades musicales agradables o un sonido que no es deseado por una persona determinada en un momento dado, es un sonido irritante, perturbador, molesto y, algunas veces, en función de su intensidad, dañino para el oído. La electrónica lo definió como todo factor que distorsiona la calidad de una señal y, los primeros científicos de la información asimilaron al concepto de ruido como todos aquellos elementos que interfieren en la correcta transmisión del mensaje entre emisor y receptor. Incluso delimitaron dos conceptos distintos: el de ruido como interferencia, y el de redundancia como exceso de elementos de información de hecho, a menudo el ruido en las ciudades es más bien exceso de señales que interferencias.

Creo, que se puede cumplir un importante papel en la tarea de compatibilizar el desarrollo económico y social y la calidad de vida, así como en la superación de los conflictos de interés que se producen en la convivencia entre culturas diversas en nuestras sociedades desarrolladas.

Capitulo

Sigüiente

q1 PUNSO

3. ANATOMIA Y FISILOGIA DEL OIDO

El sonido es por definición un fenómeno audible, por lo que el conocimiento de las principales estructuras y mecanismos involucrados en la función auditiva resultan de interés indiscutible para toda persona relacionada con actividades de investigación teórica o aplicada en el campo de la acústica, tal es el caso de la evaluación y control del ruido en el ambiente industrial, en el cual este conocimiento adquiere una importancia capital, dado los efectos del mismo en el órgano auditivo de los trabajadores expuestos.

En conocimiento de las características del sonido como un fenómeno físico y de la audición como fenómeno fisiológico, deben ser la base sobre la que se desarrollen las acciones médico-técnicas que constituyen los denominados Programas de Conservación Auditiva en Centros de Trabajo.

3.1. CLASIFICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DEL OÍDO

Las estructuras que participan en la integración de la función auditiva en el hombre se han dividido clásicamente en tres porciones (fig. 1) que corresponden desde el punto de vista funcional a diversos mecanismos de conducción, amplificación y transducción de las ondas sonoras hasta convertirlas en impulsos nerviosos que son transportados por el VIII par craneal de la corteza auditiva, situada en el lóbulo temporal, en donde se integra el estímulo en la sensación que conocemos como sonidos.

La primera porción del órgano auditivo, conocida como oído externo, se encuentra constituida por el pabellón auricular u oreja y el ducto auditivo externo. La función de esta porción, que en conjunto asemeja la forma de un embudo, es precisamente la de captar las ondas presentes en el ambiente circundante y conducirlas hasta la membrana timpánica o tímpano, que cierra el ducto en su extremo interno y que forma la primera estructura de la siguiente porción, denominada oído medio.

El tímpano es una membrana constituida por dos hojas firmemente adosadas, entre las cuales se inserta el mango del martillo, el primero de tres huesillos que articulados en cadena dentro de una cavidad ósea de forma aproximadamente cúbica, constituyen los elementos del oído medio de los otros huesos de la cadena oscicular son el yunque y el estribo.

Al incidir las ondas sonoras en el tímpano, membrana que se encuentra a tensión por su inserción alrededor del conducto auditivo externo, vibra con ésta por simpatía y su movimiento se transmite primero al martillo, después al yunque y de éste a su vez al estribo. El resultado final de este movimiento se traduce en un mecanismo de pistón, con la entrada y salida de la platina del estribo a través de un orificio, llamado ventana oval, que se encuentra en la pared interna de la cavidad del oído medio.

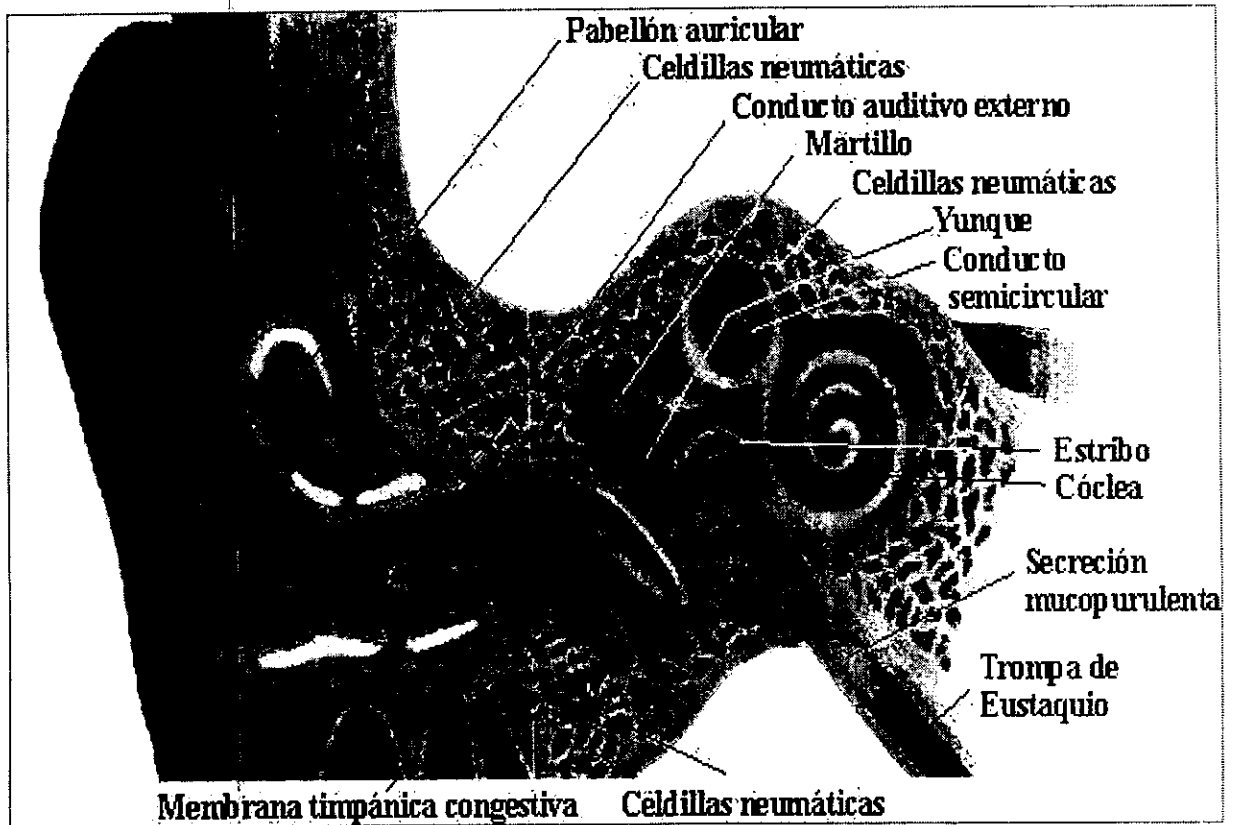
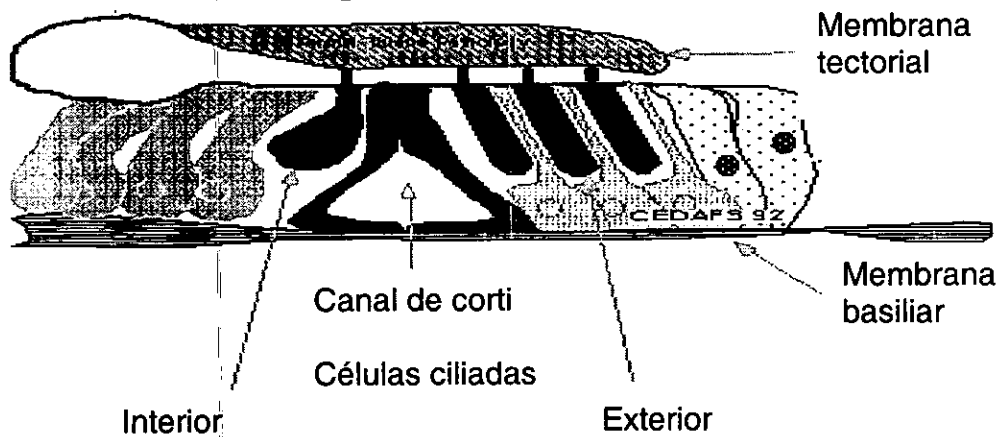


Fig. 3.1.1. Estructura básica del oído

Órgano de Corti



como se aprecia, este mecanismo de pistón transforma la simple conducción aérea de las ondas sonoras del oído externo en una transmisión mecánica, la cual además, debido a las diferencias de las áreas de aproximadamente 30: 1 entre el tímpano y la ventana oval y gracias al mecanismo de pistón de la cadena oscicular, amplifica la fuerza transmitida, aproximadamente tres veces.

En el oído medio existen además dispositivos que sirven para proteger al oído interno contra los ruidos de gran magnitud y contra las variaciones de presión del aire.

Cuando al tímpano llegan sonidos con elevado nivel de presión se contraen dos pequeños músculos insertados respectivamente en el martillo y en el estribo, cuyo efecto consiste en limitar la vibración del martillo y en separar la platina del estribo de la ventana oval, con el cual se tiende a atenuar la transmisión hacia el oído interno.

Otro dispositivo es la trompa de Eustaquio, que conecta el oído interno con la faringe y tiene la función de igualar las presiones entre en ambiente exterior y la cavidad del oído medio.

La tercera porción del aparato auditivo es el llamado oído interno, constituido por un órgano muy complejo cuya estructura externa asemeja la forma de un caracol con una espiga de dos vueltas y $\frac{3}{4}$ alrededor de una columna de hueso (columnela o modiolo) y cuyo interior se encuentra dividido en toda su longitud mediante dos membranas, basal y la de Reissner, en tres compartimientos que reciben los nombres de conductos o rampas vestibular, coclear y timpánica. En el vértice y porción central del caracol, el helicotrema, los conductos vestibular y timpánico se unen, por lo que se puede decir que de hecho forman un mismo conducto. El conducto coclear se encuentra cerrado a la altura del helicotrema y de la base del caracol, por lo que de hecho es un conducto independiente dentro de otro. Estos conductos se encuentran llenos de líquido.

En su base, el caracol presenta una ampliación de su diámetro llamado vestíbulo, la cual coincide con la ventana oval cubierta por una delgada membrana a la que la platina del estribo hace vibrar cuando se pone en movimiento, de modo que la fuerza que el estribo ejerce sobre dicha membrana se convierte en ondas de presión hidráulica, que recorren los ductos vestibular y timpánico y se transmite al coclear.

Mientras el conducto vestibular se inicia en la ventana oval, el conducto timpánico termina en la ventana redonda, que también se encuentra a nivel del vestíbulo, de modo que las ondas de presión que se generan en la ventana oval terminan en la ventana redonda, también cubierta por una delgada membrana.

El líquido que se encuentra en el interior de los conductos vestibular y timpánico, denominado perilinfa, es de composición química diferente al que se encuentra en el interior del conducto coclear, llamado endolinfa. Esta diferencia de composición,

así como las diferencias eléctricas resultantes, parecen ser de extrema importancia para la correcta audición, ya que cuando por ruptura de la membrana de Reissner la perilinfa y la endolinfa se mezclan, la audición se debilita.

En el interior del conducto coclear se encuentra un delicado sistema transductor que convierte las ondas de presión hidráulica en impulsos nerviosos. Este sistema, que recibe el nombre de órgano de Corti se encuentra constituido por un grupo de células ciliadas alineadas sobre la membrana basal y con sus filamentos en contacto con otra membrana, llamada tectoria.

En el extremo basal, cada célula ciliada se continua con una fibra nerviosa, que se une con las procedentes de las demás para formar un conjunto la porción auditiva del VIII par craneal o nervio auditivo, que será el que conduzca los impulsos hasta la corteza auditiva del cerebro, en donde se integrará la sensación del sonido.

El órgano de Corti, además de servir como transductor, funciona como sistema analizador de frecuencias en el que las frecuencias audibles más altas se localizan en la base del caracol y las más bajas en el helicotrema. Este análisis es posible gracias a que la membrana basilar, sobre el que descansan las células de Corti, es más angosta y tensa cerca del estribo y más ancha y flexible cerca del helicotrema. En el caracol, las ondas de presión hidráulicas generadas por el movimiento de pistón del estribo en la ventana oval, inducen en la membrana basilar una agitación que va del extremo más tenso al más suelto. Los tonos altos crean sus mayores crestas en donde la membrana esta más tensa y viceversa. Esta ubicación de la cresta es muy importante por que ello determina que célula de Corti serán las responsables del envío de la señal nerviosa a la zona correspondiente de la corteza auditiva del cerebro, en donde se discrimina finalmente el tono, el timbre y la intensidad del sonido y se le dará el significado ideo-afectivo que le corresponde, de acuerdo con la información y experiencia previas.

Aunque no se conoce íntimamente el mecanismo por el cual las células ciliadas del órgano de Corti ejercen su efecto transductor resulta claro, de los estudios experimentales en animales, que el efecto transductor se debe a que el movimiento de la membrana basilar hace que los cuerpos de las células de Corti que se encuentran apoyadas en ella, sigan su movimiento acercándose o alejándose de la membrana tectoria, según sea el caso y con este movimiento los cilios de esas células, que se encuentran incluidos en la masa de la membrana tectoria sufren deformaciones, que son las responsables de la generación de impulsos eléctricos conducidos por las fibras del nervio auditivo. Este fenómeno, recibe el nombre de microfónica coclear, por la similitud que tiene con el efecto producido por los cristales transductores de algunos micrófonos, que generan electricidad cuando se les tuerce o dobla.

3.1.1. FUNCIONAMIENTO BÁSICO DEL OÍDO.

El oído, como los demás órganos de los sentidos, es complicado en su estructura y en su funcionamiento; lo que más nos interesa es saber que su misión

fundamental es transformar las vibraciones sonoras que recibe del aire en impulsos eléctricos que los nervios trasladan al cerebro dándonos la sensación que llamamos oír.

La transformación de energía mecánica en eléctrica se produce en unas células determinadas que reaccionan al movimiento que originan las vibraciones generando impulsos eléctricos; estas células están alojadas en el interior de una zona del oído llamada caracol a causa de su forma. Es un fenómeno similar al producido en el microsurco de los antiguos disco de vinilo al soportar la aguja del tocadiscos, el movimiento de vibración, pasa a una célula fonocaptora (cápsula), donde se trasforma en señal eléctrica que luego se amplifica y se llevan hasta los altavoces.

3.1.2. LO QUE PERCIBE NUESTRO OÍDO

Lo que excita nuestro oído y que se designa con el nombre de sonido es una consecuencia del movimiento de las moléculas de la mezcla gaseosa de que se compone el aire. Por regla general, se indica el movimiento del aire para el movimiento de los cuerpos sólidos que arrastran el aire que los rodea y con su dilatación mecánica comprimen las capas, con lo que se aumenta su densidad. Esta densificación, acompañada de un breve aumento de presión, intenta compensarse, difundándose las partículas del aire a la zona adyacente, con lo que se produce una variación alternada entre densificación y rarefacción a causa de la inercia de la masa del aire que ha entrado en movimiento a una mayor distancia del cuerpo sólido. El sonido, por lo tanto, se propaga perpendicularmente a una superficie vibrante bajo la forma de ondas de densificación o longitudinales, siendo su velocidad determinada por las propiedades mecánicas fijas de la mezcla gaseosa del aire (inercia y elasticidad de la masa).

Con la sobrepresión excitante y la velocidad de las partículas de aire, al igual que en los procesos eléctricos, se pueden obtener, partiendo de tensión y corriente, la potencia (aquí llamada intensidad sonora), que se desplaza junto con la onda sonora a través de una cierta superficie; no obstante, los experimentos han demostrado que la magnitud más importante para la sensibilidad sonora del oído no es ni la velocidad del sonido ni la potencia transmitida, ni la velocidad de flujo de las partículas de aire, sino la sobrepresión de excitación, a la que responde básicamente el mecanismo de nuestro oído

Por lo tanto, la presión acústica es una oscilación de presión atmosférica cuyo cambio de sentido tiene lugar según el número de periodos o frecuencias de unos 20 a 20 000 por segundo (unidad Hertz = 1 Hz). Nosotros no podemos oír estas oscilaciones de presión si se hallan por debajo o por encima del campo de frecuencias que puede percibir nuestro oído.

También las moléculas del aire a temperatura normal vibran continuamente debido a la variación irregular de la temperatura, de forma que nuestro oído, si tuviese

una sensibilidad ilimitada, percibiría estas mínimas variaciones de presión (como magnitudes físicas de cien mil millonésima de la presión atmosférica, en kg / cm^2 . como un ruido continuo.

La unidad de presión, kg / cm^2 , también recibe el nombre de bar; y una cien mil millonésima = $1/100.000.000.000 \text{ bar} = 10^{-11} \text{ bar}$ o $10^{-5} \mu\text{bar}$ si se utiliza la unidad más cómoda para las medidas de presión acústica del $1 \mu\text{bar} = 1/1000.000 \text{ bar} = 10^{-6} \text{ bar}$. El umbral auditivo real para presiones acústicas se halla por término medio en $2 \times 10^{-4} \mu\text{bar}$, y por lo tanto por encima del ruido del aire. El valor de la presión acústica de $2 \times 10^{-4} \mu\text{bar}$ se ha tomado como patrón internacional y valor de referencia de todas las medidas acústicas.

La magnitud de las medidas usuales, bajo la forma de voz, música y ruido, oscila en un campo entre 10^{-1} (es decir, $1/10$) hasta unos 10^{+3} (es decir, 1000) μbar .

En la práctica es incómodo el mencionar los valores de las presiones en las unidades anteriores, debido a lo elevado de las cifras, como son las potencias de 10 que hay que manejar. Si para simplificar escribimos solo exponentes, es decir 0, 1, 2, 3, etc., tenemos la llamada escala logarítmica, que cuando se utilizan grandes cifras absolutas se indica mediante cifras relativamente pequeñas como exponentes.

Se elige la presión del umbral de la audición, $2 \times 10^{-4} \mu\text{bar}$, como nivel acústico 0, y la presión es de potencias de base $\sqrt{10}$.

1 bel es una característica proporcional y significativa 10 veces más potencia o $\sqrt{10}$ veces más presión frente a 0 Bel, 2 Bel 100 veces más potencia o 10 veces más presión. Con ello resulta que un aumento de presión de 10 corresponde a un aumento de 2 beles o 20 dB. Los valores se pueden obtener mediante la tabla 3.1.2.1

Tabla 3.1.2.1

Tabla de la relación entre la presión física sonora en μbar y el sonido acústico relativo en dB					
μbar	dB	μbar	dB	μbar	dB
$2,00 \times 10^{-4}$	0	$2,24 \times 10^{-4}$	21	2,24	81
$2,24 \times 10^{-4}$	1	$2,24 \times 10^{-4}$	21	2,24	81
$2,52 \times 10^{-4}$	2	$2,24 \times 10^{-4}$	21	2,24	81
$2,82 \times 10^{-4}$	3	$6,32 \times 10^{-3}$	30	6,32	90
$3,17 \times 10^{-4}$	4	$6,32 \times 10^{-3}$	30	6,32	90
$3,56 \times 10^{-4}$	5	$6,32 \times 10^{-3}$	30	6,32	90
$3,99 \times 10^{-4}$	6	$2,00 \times 10^{-2}$	40	$2,00 \times 10$	100
$4,48 \times 10^{-4}$	7	$2,24 \times 10^{-2}$	41	$2,24 \times 10$	101
$5,02 \times 10^{-4}$	8	$2,24 \times 10^{-2}$	41	$2,24 \times 10$	101
$5,64 \times 10^{-4}$	9	$2,24 \times 10^{-2}$	41	$2,24 \times 10$	101
$6,32 \times 10^{-4}$	10	$6,32 \times 10^{-2}$	50	$6,32 \times 10$	110
$7,10 \times 10^{-4}$	11	$6,32 \times 10^{-2}$	50	$6,32 \times 10$	110
$7,96 \times 10^{-4}$	12	$6,32 \times 10^{-2}$	50	$6,32 \times 10$	110
$8,93 \times 10^{-4}$	13	$2,00 \times 10^{-1}$	60	$2,00 \times 10^2$	120
$1,00 \times 10^{-3}$	14	$4,24 \times 10^{-1}$	61	$2,24 \times 10^2$	127
$1,13 \times 10^{-3}$	15	$4,24 \times 10^{-1}$	61	$2,24 \times 10^2$	127
$1,26 \times 10^{-3}$	16	$4,24 \times 10^{-1}$	61	$2,24 \times 10^2$	127
$1,42 \times 10^{-3}$	17	$6,32 \times 10^{-1}$	70	$6,32 \times 10^2$	130
$1,59 \times 10^{-3}$	18	$4,24 \times 10^{-1}$	70	$6,32 \times 10^2$	130
$1,78 \times 10^{-3}$	19	$4,24 \times 10^{-1}$	70	$6,32 \times 10^2$	130
$2,00 \times 10^{-3}$	20	2,00	80	$2,00 \times 10^3$	140

Expresado bajo una fórmula matemática el paso de una cierta presión acústica P_x en μbar al nivel acústico correspondiente (logarítmico) L en dB da la relación:

$$L = 10 \log \frac{P_x^2}{P_0^2} = 20 \log \frac{P_x}{P_0} [dB] \quad \text{ec. 3.1.2.1}$$

Siendo P_0 la presión del umbral de la audición 2×10^{-4} .

Con las consideraciones anteriores ya hemos obtenidos las dos magnitudes básicas más importantes para todas las medidas acústicas, o sea:

1. La cantidad de oscilaciones de las variaciones audibles para la presión como frecuencia (en Hz), y
2. La magnitud de la variación de presión en valores físicos absolutos (en μbar) o en los valores relativos con respecto al umbral de la audición (en dB).

3.1.3. COMO PERCIBE NUESTRO OÍDO

Las unidades acústicas consideradas, la frecuencia en Hertz y la presión absoluta en μbar , o relativa en dB por encima del umbral de la audición, son magnitudes objetivamente reales y directamente medibles;

Al aumentar la frecuencia se percibe un aumento de tono, pero la intensidad de la percepción (percepción de intensidad acústica) en procesos de diferente frecuencia con la misma presión acústica física no es uniforme, puesto que las frecuencias graves o las muy agudas, a pesar de tener la misma presión, se perciben más débilmente que las frecuencias medias.

Si referimos nuestra percepción de intensidad acústica de un fenómeno acústico de frecuencia media (en este caso es muy apropiado el valor internacional de 1000 Hz como frecuencia normal) se observa que para tener la misma intensidad de sensación con otras frecuencias se precisa una presión acústica relativamente superior a las frecuencias graves y muy agudas.

Se fijan una serie de curvas de la misma intensidad, de forma de que cada una de ellas corresponda a decenas completas de decibeles a una frecuencia de 1000 Hz, las cuales reciben el nombre de curvas de fones, con un valor que corresponde al valor en dB a 1000 Hz.

Por motivos prácticos para su aplicación a la técnica de las medidas se ha simplificado la curva del nivel en dB. Así puede suceder para los valores de presión acústica, medidos en frecuencias en un fenómeno sonoro, según el instrumento de medida utilizado, resulten algo diferentes, existiendo una cierta desviación con respecto al valor real, o el que se obtendría al utilizar curvas de valoración de variación continua.

Ruidos de muy corta duración reciben el nombre de **detonación** o **ruido seco** el proceso de la descomposición de una curva real en varias curvas individuales simultáneas con trayectoria sinusoidal recibe el nombre de análisis de frecuencias.

Pero también existen ruidos continuos de aparición uniforme que tiene el mismo espectro sonoro; un ejemplo muy importante en la práctica es el llamado ruido blanco que cada vez se utiliza más para efectuar medidas y que en cierta manera representan la antítesis del sonido puro, una sinusoidal.

3.1.4. ERGONOMIA APLICADA

El ruido en la industria es importante por tres razones fundamentales: es molesto, daña la audición y afecta la eficiencia del trabajador.

Los efectos del ruido no están necesariamente relacionados entre sí; por ejemplo, un ruido muy molesto puede no ser lo suficientemente fuerte como para dañar la audición o impedir la eficiencia, o puede presentarse el caso de un ruido casi imperceptible capaz de dañar la audición o disminuir la eficiencia.

Para poder hablar de los efectos de las ondas sonoras se requiere utilizar dos unidades técnicas usadas en la medición del sonido.

El primero de ellos es el Hertz (Hz), unidad utilizada para medir la frecuencia de un sonido cuando las ondas llegan a intervalos regulares al oído. La frecuencia es el número de ondas por segundo; cuando su número es pequeño, se oye un tono bajo, y cuando es mayor, un tono agudo. Un sonido es audible únicamente entre las frecuencias comprendidas entre 20 y 150 Hz.

Por su puesto muchos sonidos emiten ondas irregulares, dando origen a la formación de ondas complejas, las cuales están compuestas por un conjunto de ondas simples, y cada una de ellas con frecuencia diferente. El ruido de una máquina contiene frecuencias bajas, intermedias y altas en cantidades variables, y es posible determinar que cantidad de ruido hay en cada frecuencia. El segundo término técnico es el decibel (dB), unidad utilizada para medir la intensidad del sonido. Los sonidos más frecuentes que podemos oír, son de una intensidad de un billón de veces mayor que el sonido más débil. Los cambios de intensidad del sonido se pueden apreciar a través de una escala de decibeles que proporciona valores equivalentes en forma logarítmica. Así, incrementos de 10 veces, ya sea de uno a 10, de 10 a 100 ó de 100 a 1000, se representan por un cambio de 10 decibeles. Ver tabla 3.1.4.1

Tabla 3.1.4.1

INTENSIDAD	EQUIVALENTE EN DECIBEL	SONIDOS TÍPICOS
10 000 000 000 000	130	135dB. Prensa hidráulica a 0.914 m (3 pies)
1 000 000 000 000	120	
100 000 000 000	110	105 dB despegue de un jet a 180 m (200 yardas)
10 000 000 000	100	95 dB. Torno automático a corta distancia
1 000 000 000	90	
100 000 000	80	75 dB. Máquinas de oficina entre escritorios
10 000 000	70	
1 000 000	60	65 dB. Conversación a 0.914 m ó 1.219 m (3 o 4 pies)
100 000	50	
10 000	40	
1 000	30	
100	20	20 dB. Susurro a 1.29 m (4 pies)
10	10	
1	0	0 dB. Umbral de la audición a 1 000 Hz

También se debe tener presente que la variación de intensidad más pequeña apreciada por el oído está cerca de 1 dB. Esta relación aproximada con la percepción del oído hace al decibel una unidad conveniente. Cabe recordar que las cifras de dB son normalmente citadas con referencia a un cero arbitrario actualmente $0.00002 \text{ newtons/m}^2$ ($0.00002 \text{ dinas/cm}^2$) que es aproximadamente el sonido fino más débil que podemos escuchar a 1 000 Hz.

La realización de un estudio ergonómico del ruido implica las aportaciones de un grupo de especialistas, se debe considerar la aportación de las diversas ciencias y disciplinas, especialmente en los aspectos relacionados con la psicología actual y la teoría de los sistemas.

El estudio del problema de ruido con enfoque ergonómico debe ser abordado por grupos compuestos de fisiólogos, psicólogos, ingenieros y abogados, que respectivamente sean especialistas en otología, psicología experimental, aislamiento de ruido y legislación de seguridad industrial. Es posible que en lugar de un otólogo pueda incluirse a un médico industrial especializado en otología, o a un otorrinolaringólogo; el psicólogo experimental podría ser un psicólogo industrial, y en los que concierne al experto en la legislación de seguridad industrial, puede resultar apropiado un especialista en Derecho del Trabajo. La convergencia de las diferentes orientaciones científicas aportará las conceptualizaciones necesarias para establecer lo que realmente es ruido.

Las contribuciones médicas tecnológicas y legales al estudio de ruido, si bien no son bien conocidas, son numerosas; en cambio, las contribuciones con enfoque psicológico son escasas pero imprescindibles ya que sin ellas es imposible hablar de un estudio ergonómico de ruido.

A continuación se presentan dos escalas que proporciona una idea de las equivalencias en dB y en Hertz y mels. (tabla 3.1.4.2).

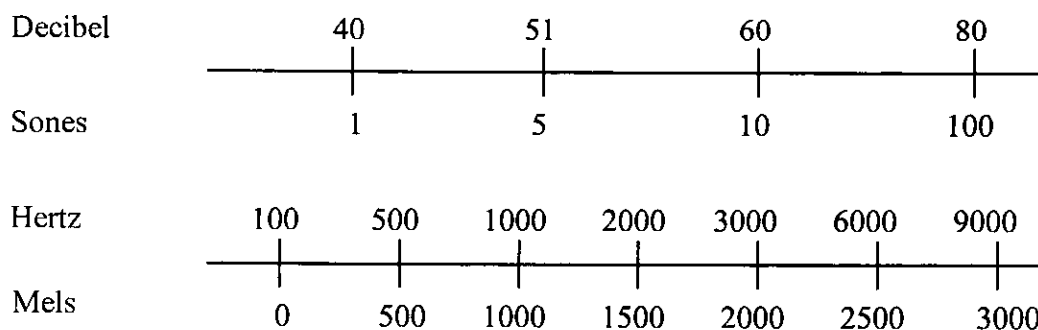


Tabla 3.1.4.2 Escalas de medidas del sonido

4. EFECTOS DEL RUIDO

El ruido en la industria es importante por tres razones fundamentales: es molesto, daña la audición y afecta la eficiencia del trabajador.

El ruido presenta grandes diferencias con respecto a otros contaminantes; es el contaminante más barato y necesita muy poca energía para ser emitido; es complejo de medir y cuantificar y sus efectos pueden dividirse en fisiológicos y psicológicos.

El ruido, es sin duda el elemento contaminante más común en la mayoría de los puestos de trabajo. Cualquiera que sea la actividad industrial o de la vida diaria, tengamos en cuenta que vivimos sumergidos en un mundo de sonidos que, por ejemplo, nos avisan de un peligro y nos ponen en guardia.

4.1. EFECTOS DEL RUIDO SOBRE EL ORGANISMO

La exposición del organismo al ruido no afecta únicamente al oído sino que tiene una influencia dañina en otros órganos y sistemas del cuerpo humano; eso no tiene nada de raro pues la exposición al ruido, aunque es captada inicialmente por el oído, puede ser transmitida a otras zonas del cuerpo mediante las interconexiones que se producen en el cerebro entre los nervios procedentes de oído y los que van a otras regiones corporales.

Es preciso tener en cuenta que el concepto de "sordo" empleado en este trabajo no es coloquial de persona que "no oye", sino que técnicamente se entiende por sordo a una persona que a las frecuencias de 500, 1.000, y 2.000 Hertzios tiene un umbral auditivo que, en promedio, es de 25 dB superior a lo normal en un sujeto joven y sano.

La audición normal puede definirse como la capacidad auditiva media de un grupo de personas representativo de la población, es un valor promedio ya que la audición normal de cada persona es distinta, y abarca un espacio de 15 dB a ambos lados del valor medio ya que el oído humano oye a distintas frecuencias y cada una de ellas de forma distinta, la evaluación de la audición se efectúa a distintas frecuencias; las que hoy en día se consideran adecuadas son las de 250, 500, 1.000, 2000, 4.000 y 8.000 Hz.

4.2. EFECTO ACUMULATIVO EN EL HOMBRE

Entre las características del ruido destaca el que puede ser acumulativo en sus efectos en el hombre.

La exposición a niveles de ruido intenso durante un periodo de tiempo prolongado da lugar a pérdidas de audición, que si en un principio son recuperables cuando el ruido cesa, con el tiempo pueden ser irreversibles, convirtiéndose en sordera. A su vez la exposición a niveles de ruido de mediana intensidad pero con una prolongación mayor repercute en forma similar traduciéndose también en sordera temporal o permanente.

En presencia de ruido, el organismo adopta una postura defensiva y hace uso de sus mecanismos de protección, como sería la modificación del ritmo cardíaco.

En niveles de entre los 95 y 105 decibeles se producen afectaciones en la irrigación sanguínea cerebral, alteraciones en el proceso digestivo, aumento de la tensión muscular y presión arterial, dilatación de pupila, alterando la visión nocturna, además de estrechamiento del campo visual.

4.3. EFECTOS DE LA EXPOSICIÓN

Los efectos producidos en el hombre por la acción del ruido depende de las características cuantitativas y cualitativas del sonido, tales como su espectro de frecuencias, nivel de presión sonora, periodicidad, duración distribución a lo largo del día, lo que se conoce como características de exposición.

Los programas médico-técnicos de prevención de riesgos, en los que se establece un monitoreo permanente del ambiente y de las personas expuestas, son la mejor alternativa de solución que se pueda dar para evitar la presentación de efectos indeseables en las personas expuestas y para ello es indispensable conocer dichos efectos.

La exposición a sonidos de gran magnitud, a los cuales nos referimos como ruido, tiene efectos en el hombre que incluyen las esferas físicas, psíquicas y sociales.

4.4. EFECTOS AUDITIVOS

El primer efecto del ruido en la función auditiva será la interferencia en la comunicación oral o en cualquier sistema de señales audibles, como consecuencia de un efecto de enmascaramiento proporcional al nivel de presión sonora en las frecuencias dominantes de las señales que para el caso de la comunicación oral suele abarcar las octavas de 500, 1000 y 2000 Hz. En tanto no se genere daño a fatiga auditiva, la duración de la interferencia por ruido dependerá del efecto de enmascaramiento por presencia de ruido en el ambiente.

El segundo de los efectos auditivos del ruido consiste en la lesión anatómica y funcional del oído, la cual con base en las características del ruido como, el tiempo de exposición y el tipo de daño generado, ha sido clasificado en trauma acústico agudo y trauma acústico crónico.

4.4.1. TRAUMA ACUSTICO AGUDO

La exposición al ruido de gran magnitud, de corta duración y presentación repentina, suele producir alteraciones consistentes en desgarramiento de la membrana timpánica y/o dislocación o fractura de los huesos de la cadena oscicular. Estas alteraciones anatómicas se traducen funcionalmente en una disminución de la capacidad auditiva en las frecuencias bajas, que por deberse a deficiencias en los mecanismos de conducción del oído medio se clasifican como hipoacusias conductivas.

Si a pesar de la lesión del oído medio se presenta transmisión del impulso sonoro al oído interno es posible que se genere daño al órgano de Corti, que se sumará a la deficiencia del oído medio y producirá un tipo de hipoacusia mixta con disminución de la capacidad auditiva en las frecuencias altas y bajas, respetando en alguna medida las frecuencias intermedias. Como se muestra en la figura 4.4.1.1

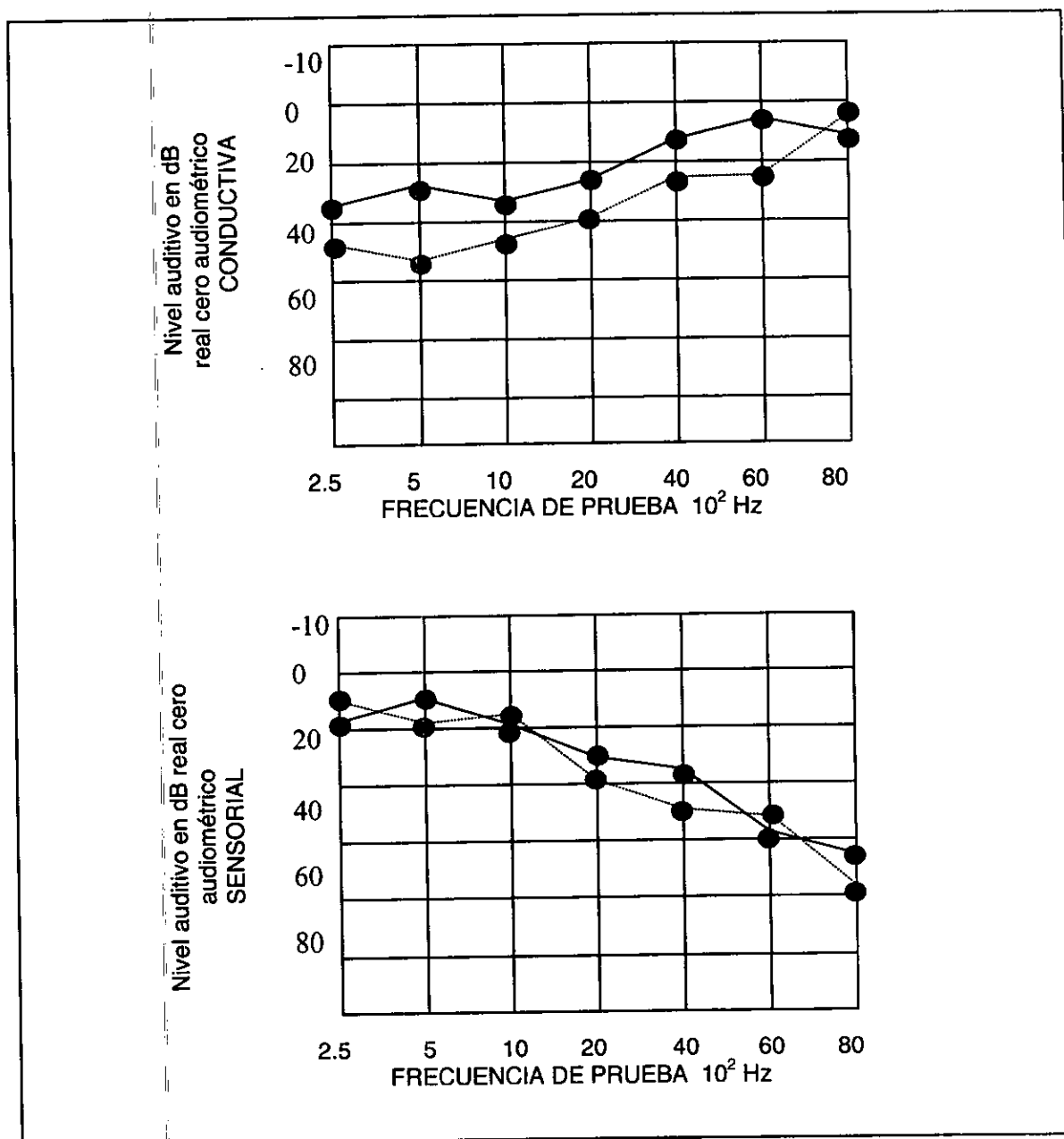


Fig 4.4.1.1 Audiograma de hipoacusias

El pronóstico de las lesiones conductivas puras es menos grave que el de la hipoacusias mixtas, ya que actualmente se cuenta con procedimientos quirúrgicos que permiten la reconstrucción del oído medio con un grado aceptable de reconstrucción de la función. En cambio la destrucción del órgano de Corti es irreversible y la mejoría funcional mediante adaptación de auxiliares auditivos eléctricos es nula o muy relativa, ya que el daño se encuentra en el mecanismo transductor.

4.4.2. TRAUMA ACÚSTICO CRÓNICO

Este tipo de patología auditiva por exposición al ruido es más común en la industria y consiste en la pérdida paulatina de la capacidad auditiva por destrucción del órgano de Corti, como consecuencia de la acción continua durante varios años de elevados niveles de presión sonora ejercidos sobre el aparato auditivo.

Antes del establecimiento de la lesión permanente del órgano de Corti que caracteriza el trauma acústico crónico, el trabajador expuesto a ruido industrial suele presentar una serie de manifestaciones que anteceden en algunos años a la presencia definitiva de la disminución de la capacidad auditiva. Estas manifestaciones previas han sido agrupadas en cuatro fases que corresponden aproximadamente a periodos determinados de exposición y que, desde luego, pueden variar en función de las características de ésta y de la susceptibilidad personal.

En la fase I o fase de instalación, que suele presentarse después de tres a cinco años de exposición a ruido industrial intenso, se producen cambios temporales del umbral auditivo, caracterizado por una disminución de la agudeza auditiva en el periodo inmediato posterior a la exposición, esta disminución de la audición dura varias horas y se recupera totalmente después de un periodo de no exposición. En esta fase no existe lesión propiamente dicha, ya que las manifestaciones se deben al fenómeno conocido como fatiga auditiva y por ello la recuperación es completa si se elimina la exposición al ruido.

En la fase II o fase de latencia total, la desviación temporal del umbral auditivo se hace más evidente y existe ya algún grado de lesión permanente del órgano de Corti que involucra la percepción de las frecuencias altas fuera de la zona en que se desarrolla la comunicación oral, por lo que el sujeto suele no percatarse de su deficiencia auditiva, como no sea por la realización de un examen audiométrico. Esta fase suele presentarse entre los cinco y diez años de exposición a niveles arriba de 90 dB de ruido.

La fase III o de latencia subtotal, que se presenta por lo general después de diez años de exposición, se caracteriza por una profundización de la hipoacusia y una mayor amplitud de frecuencias afectadas dentro de las que se involucra la zona del lenguaje, lo que lógicamente se manifiesta por dificultad para captación de palabras, con alta frecuencia, como la F, la K y la S.

Es común que durante esta fase se manifiesten zumbidos en oídos que reciben el nombre de acúfenos en chorro de vapor.

En la fase IV o de sordera manifiesta que se presenta generalmente entre los 15 y 20 años de exposición a niveles arriba de 90 dB de ruido, se encuentran afectadas por lo general la mayor parte de las frecuencias de la escala auditiva, pero predominantemente los tonos agudos y en forma característica la frecuencia de los 4000 Hz; los acúfenos se exacerbaban y existe dificultad no solo para la comprensión sino también de la expresión oral. Ver fig.4.4.2.1 y 4.4.2.2.

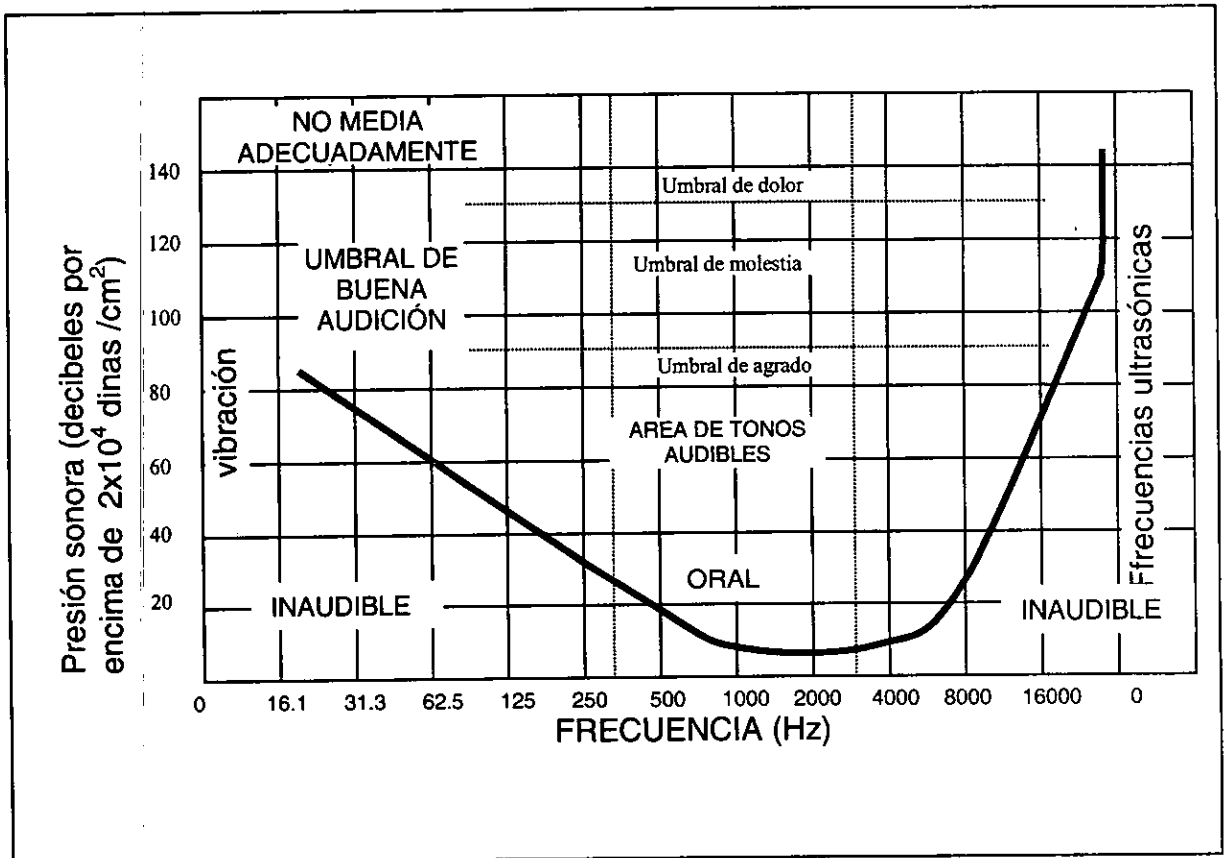


Fig. 4.4.2.1 Campo de Audición

Los efectos producidos en la fase II y IV se deben a la destrucción del órgano de Corti y, por lo tanto, las alteraciones auditivas que se presentan en ellas son irreversibles.

Estas manifestaciones pueden ser bilaterales y simétricas, es decir, que afectan ambos oídos en igual forma.

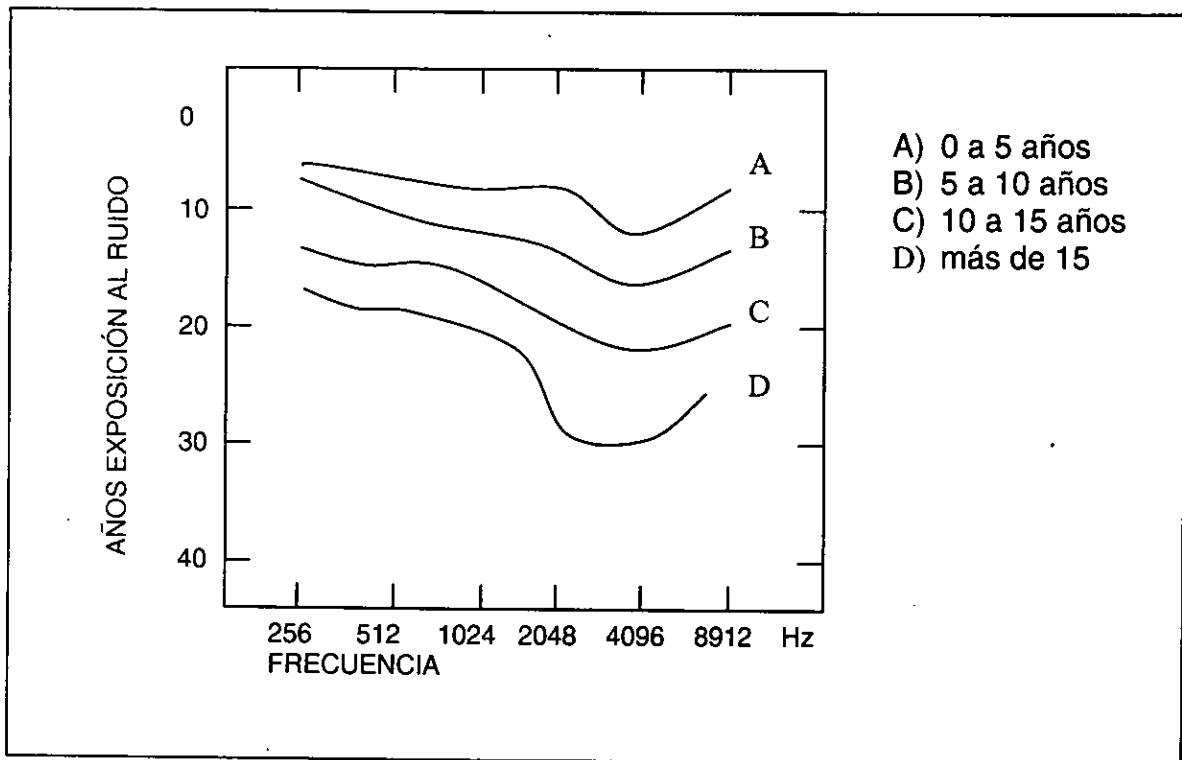


Fig. 4.4.2.2 Audiograma medico de empleados expuestos a ruido industrial

4.5. EFECTOS EXTRA-AUDITIVOS

Además de los efectos que el ruido produce en la audición, es capaz de producir alteraciones mediante la intervención del sistema nervioso, conforme al modo individual de respuesta que tiene su fundamento en características genéticamente determinadas, así como en el aprendizaje y experiencia previos.

Los principales efectos extra-auditivos del ruido han sido divididos en tres grupos generales:

- Manifestaciones neuro-vegetativas, que incluyen modificaciones vasomotoras con dilatación arterial, modificaciones de la frecuencia cardiaca y de la tensión arterial; estimulación de glándulas endocrinas (con secreción de hormona tiroidea, adrenalina y corticotrofina), aumento de peristaltismo intestinal y dilatación pupilar.
- Fatiga física y mental, con efectos adversos en la eficiencia tanto muscular como mental que se explican como consecuencia de mayor esfuerzo que se debe realizar para lograr la concentración y por el mayor desgaste nervioso producido por la sobre estimulación del cuerpo al estar expuesto a ruidos intensos.

- Alteraciones de la conducta y la personalidad que puede agravar estados previos de deficiente integración o patología subyacente y que pueden variar en grado, desde reacciones psiconeuróticas que ceden con tratamiento psiquiátrico de apoyo hasta cuadros neuróticos de más difícil manejo.

En términos generales se puede afirmar que los efectos extra-auditivos del ruido presentan una forma individual de responder al estímulo y por ello las manifestaciones pueden ser muy variadas.

4.6. EFECTOS EN EL TRABAJO

Se ha demostrado que el ruido disminuye la eficiencia del operario en el trabajo. Esto que puede parecer una contradicción, significa que determinadas actividades son fácilmente afectadas, en tanto que otras no. En la ejecución de una actividad monótona que puede producir somnolencia, el ruido puede combatir este efecto y hacer más rápidas las reacciones del trabajador.

Los efectos del ruido intenso se manifiesta en el trabajo a través de un incremento de desperdicios de material debido a la falta de concentración incurriendo a mayores errores humanos, o bien en retrasos innecesarios. Asimismo, se considera que los trabajadores son menos precisos bajo condiciones ruidosas y por ello están propensos a cometer el tipo de errores que ocasionan accidentes.

4.7. DAÑOS EN EL OÍDO

El efecto fundamental del oído a causa del ruido es la reducción de las células alojadas en el caracol para producir impulsos eléctricos cuando se les somete a vibración. El primer paso de esta afectación es la llamada sordera temporal, la mayoría de los trabajadores de la industria ha tenido la sensación de que después de estar sometido a un ruido intenso por un cierto tiempo ha quedado algo sordos: que desaparece a las pocas horas de cesar la exposición, pues estas células del caracol recuperan su capacidad de transmisión.

Cuando la exposición al ruido es intensa y prolongada la recuperación es cada vez más lenta y, al final, se produce la muerte celular. Es importante sobre este tema tener muy claras dos cosas:

Primera. La sordera permanente producida por el ruido es totalmente irreversible; En este tipo de sorderas, cuando el daño es de origen laboral, por una exposición continua a niveles altos de ruido, se produce una pérdida de capacidad auditiva que comienza en la frecuencia de 4.000 Hz y si persiste la agresión, dicha pérdida se va extendiendo progresivamente a frecuencias inferiores y superiores.

Segunda: es posible detectar de forma muy precoz el inicio de una sordera permanente cuando ésta aún no es perceptible; para ello es suficiente la realización de audiometrías.

4.8. PRESBIACUSIA

Se entiende por presbiacusia la pérdida de la audición que acompaña al proceso de la edad

Con respecto a esto, es necesario conocer que la pérdida de la capacidad auditiva es un fenómeno natural asociado al proceso de envejecimiento biológico; la exposición al ruido aumenta la velocidad a la que progresa la sordera "natural". Según la recomendación ISO 1.999-1.971 el porcentaje de sordos en una población no expuesta laboralmente al ruido es, en función de la edad.

La presbiacusia es un proceso degenerativo natural de la capacidad auditiva que se inicia para algunos autores a los 35 años en promedio, lo cual favorece el efecto nocivo del ruido. Ver cuadro 4.8.1

Tabla 4.8.1

Edad	18	23	28	33	38	43	48	53	58	63
% de sordos	1	2	3	5	7	10	14	21	33	50

5. FÍSICA DEL SONIDO

Cuando se tiene una fuente emisora de ruido (motor eléctrico, compresor, equipo de perforación, ducto transportador de gas, etcétera) en la que hay evolución de la energía mediante la generación de fuerzas dinámicas cuya acción afecta a un medio elástico, se presenta la vibración mecánica de este medio.

Ahora bien como se trata de un medio elástico, la energía de la fuente traducida en la vibración de este medio se propagará a través de él mediante ondas progresivas, toda vez que por su característica elástica no hay gran absorción de dicha energía. Al efectuarse esta propagación, se tienen compresiones y expansiones cíclicas en forma alternativa a lo largo de la trayectoria, con lo que se originan muy pequeñas variaciones de presión. Y son precisamente estos cambios de presión los que, si están en el rango apropiado (rango audible), estimularán el oído y se tendrá la sensación de sonido. Así, el sonido es simplemente la vibración mecánica audible.

5.1. COMO SE PROPAGA LA ONDA SONORA.

Siendo el aire el medio elástico de propagación del sonido, consideremos que pasa de una de sus partículas que, aunque pequeña, sea de tamaño suficiente para contener las propiedades físicas del todo del que forma parte.

Cuando una fuerza dinámica (F) obliga a que una partícula se desplace de su posición de equilibrio, al chocar con su vecina causa que se mueva a una distancia similar que es infinitesimal, mientras que ella rebota a su lugar original dada su característica de la elasticidad. A su vez, esta segunda partícula choca con una tercera y ésta con una cuarta, etcétera, repitiéndose el mismo evento un cierto número de veces, con lo que el medio se comprime cada vez más hasta el punto máximo, dependiendo de la energía de la fuerza perturbadora y el tiempo que pase antes de que esta actúe en sentido inverso. Dado lo elástico del medio, ahora se inicia una rarefacción (expansión) para volver el contenido energético de la onda al punto de partida (presión cero) en la línea base. Pero entonces la fuerza actúa en el sentido inverso, con lo que se refuerza a esta rarefacción hasta llegar también a un punto máximo. En forma similar pero inversa a lo ocurrido en pasar de 2 a 1', ahora la onda va del punto 3 al 1'', pero iniciando no una expansión sino una compresión del medio. Al llegar al punto 1'' se termina el ciclo y se inicia otro cuando la fuerza vuelve a actuar en el sentido en que lo hizo inicialmente, alcanzándose el segundo máximo de compresión en el punto 2'. Ver figura 5.1.1

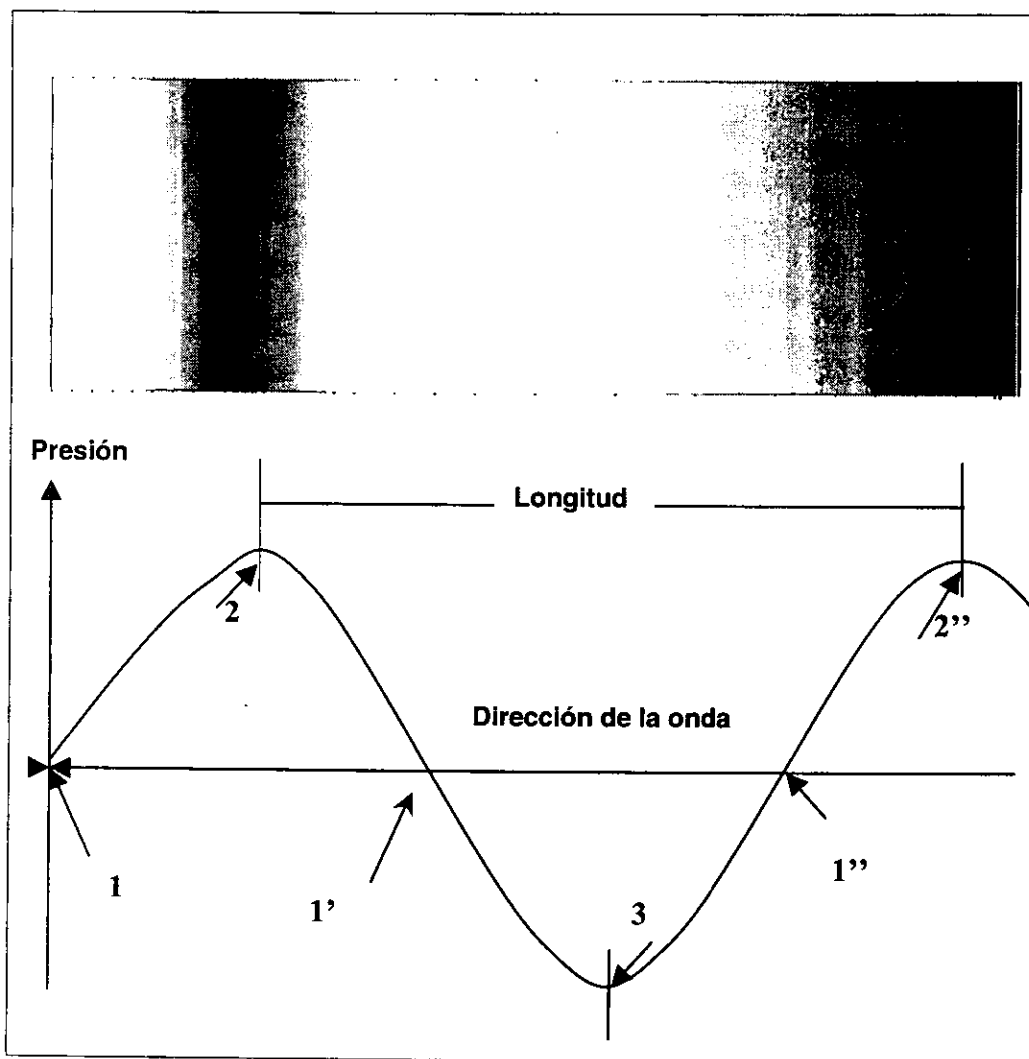


Fig. 5.2.1 Propagación de la onda sonora en un medio elástico

Es muy importante aclarar que ninguna de las partículas sobre las que actúa la perturbación se transporta junto con ella, sino que se trata solo de su energía transmitida

La velocidad de transmisión del sonido depende de la elasticidad del medio, pues resulta claro que mientras más elástico sea, el tiempo necesario para que una partícula le transfiera movimiento a la vecina será menor, en tanto que la velocidad de propagación de la perturbación será mayor. Por otro lado, dicha velocidad será menor mientras mayor sea la densidad del medio de propagación.

En el aire a 20 °C y bajo condiciones normales, esta velocidad es de aproximadamente 344 m/s Y aumenta conforme aumenta la temperatura a razón de 60.7 cm/s Por cada °C adicional. En el agua esta velocidad es de aproximadamente de 1500 m/s y de 5 000 m/s en el acero.

5.2. MAGNITUDES FUNDAMENTALES

FRECUENCIA

El número de veces que la fuerza dinámica causa la perturbación binaria (compresión rarefacción) por cada unidad de tiempo, se conoce como **frecuencia** de la perturbación.

LONGITUD DE LA ONDA

Conocidas la velocidad y frecuencia de un sonido, se puede determinar su longitud de onda, es decir, la distancia física en el aire desde el vértice de presión de una onda hasta el de la siguiente. En efecto, al ser esencialmente constante la velocidad del sonido a través del aire, el intervalo de tiempo entre dos compresiones sucesivas (o dos rarefacciones sucesivas, esto es dos ciclos completos) estará definido por la frecuencia. Lógicamente el producto de este tiempo que dura el ciclo completo, durante el cual la perturbación está viajando a una velocidad constante, nos dará una longitud: **la longitud de onda**.

Así tenemos la siguiente relación fundamental entre estas variables:

$$\lambda = vT = v/f.$$

Ec. 5.2.1

donde:

λ = longitud de onda.

v = velocidad del sonido en el aire.

T = tiempo entre compresiones sucesivas (o rarefacciones sucesivas)

f = frecuencia de la perturbación.

Mediante la aplicación de la formula 5.2.1 podemos obtener la longitud de onda para cualquier velocidad del sonido y cualquier frecuencia de onda. En el caso del

sonido en el aire a 20°C (velocidad igual a 344 m/s tenemos una longitud de onda de casi 17 m para una frecuencia de 20 Hz, y de solo poco más de 1.5 cm para 20 KHz.

AMPLITUD

La amplitud de onda nos habla de cómo varía la presión con el tiempo, hasta alcanzar un máximo en los dos sentidos. Destacadas de manera sobresaliente por su importancia, la amplitud se relaciona con la intensidad del fenómeno.

Cualquier fenómeno oscilatorio armónico se puede representar gráficamente como una función armónica de tipo senoidal, igual al que se tiene en la figura 5.1.1. una onda de este tipo representa un tono puro ya que tiene amplitud y frecuencias específicas. Pero en la realidad, los fenómenos sonoros se manifiestan por ondas complejas donde se superponen ondas armónicas de diversas amplitudes y frecuencias.

5.3. ALGUNAS PROPIEDADES ACÚSTICAS IMPORTANTES

POTENCIA

La potencia sonora es una propiedad física fundamental de la fuente aislada y un parámetro absoluto ampliamente usado para la comparación y clasificación de fuentes sonoras. Es una medida básica de su calidad acústica, pero los niveles de presión sonora a los que da lugar, varían mucho dependiendo de la distancia y orientación del receptor, de los gradientes de temperatura y velocidad del medio, de la presencia de cuerpos absorbentes, reflejantes o reverberantes en el ambiente, etcétera.

DENSIDAD DE ENERGÍA

La densidad de energía sonora es la energía acústica contenida en la unidad de volumen del medio; es un parámetro fundamental de cualquier tipo de campo acústico, entendiéndose como tal aquella región del espacio en la que existen vibraciones sonoras y cuyo tipo será definido en función de su comportamiento como consecuencia de las características de dichas vibraciones, así como las del local y de la fuente.

INTENSIDAD SONORAS.

La intensidad sonora es la energía cáustica que fluye a través del área unitaria en el campo sonoro, por la unidad de tiempo. Desde luego es cuantitativamente diferente para los diversos tipos de campos acústicos, pues la energía se distribuye de diferente manera en cada uno de ellos.

5.4. CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES SEGÚN SU GEOMETRÍA Y TAMAÑO RELATIVO

5.4.1. FUENTE PLANA

Considere una sección del medio en la forma de un tubo elemental con un área unitaria en la sección transversal y una longitud igual a la distancia viajada por la onda sonora en un segundo (fig. 5.4.1.1), esto es, numéricamente igual a la velocidad del sonido (c). Si por medio de paredes duras se obliga a un pistón W (fuente) a radiar toda su potencia dentro del tubo para producir una onda plana, el tubo contendrá una cantidad de energía numéricamente igual a la salida de potencia de la fuente.

Asumiendo que no hay pérdidas, la intensidad, esto es, la energía acústica que fluye a través del área unitaria en cualquier punto a lo largo del tubo en la unidad de tiempo, es independiente de la distancia a la fuente y numéricamente igual a su potencia sonora.

Fuera de los sistemas de ductos raramente se encuentran ondas y fuentes planas en la práctica normal de la medición del ruido.

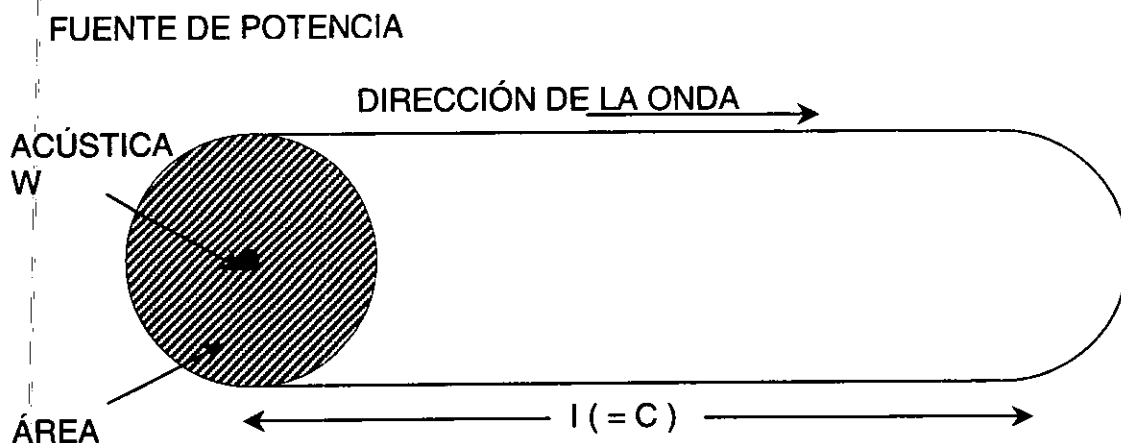


Fig. 5.4.1.1 RADIACIÓN ACÚSTICA DENTRO DE UN TUBO

5.4.2. FUENTE PUNTUAL

Las fuentes sonoras se pueden considerar como puntuales si sus dimensiones son pequeñas en relación con su distancia al receptor. De hecho muchas fuentes comunes, incluyendo las plantas industriales, pueden tratarse de esta manera (figura 5.4.2.1)

Puede considerarse que la fuente puntual ideal produce una serie de frentes de ondas esféricas como resultado de perturbaciones sucesivas en la propia fuente. Por su puesto, tratándose de una perturbación senoidal pura (tono puro), la

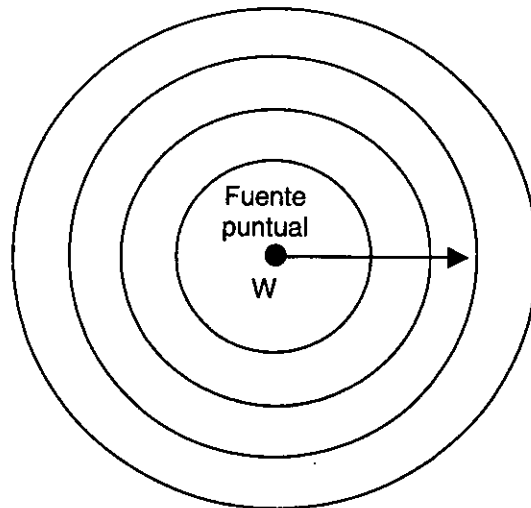


Fig. 5.4.2.1 PROPAGACION DE FUENTES DE ONDAS ESFÉRICAS A PARTIR DE UNA FUENTE PUNTUAL

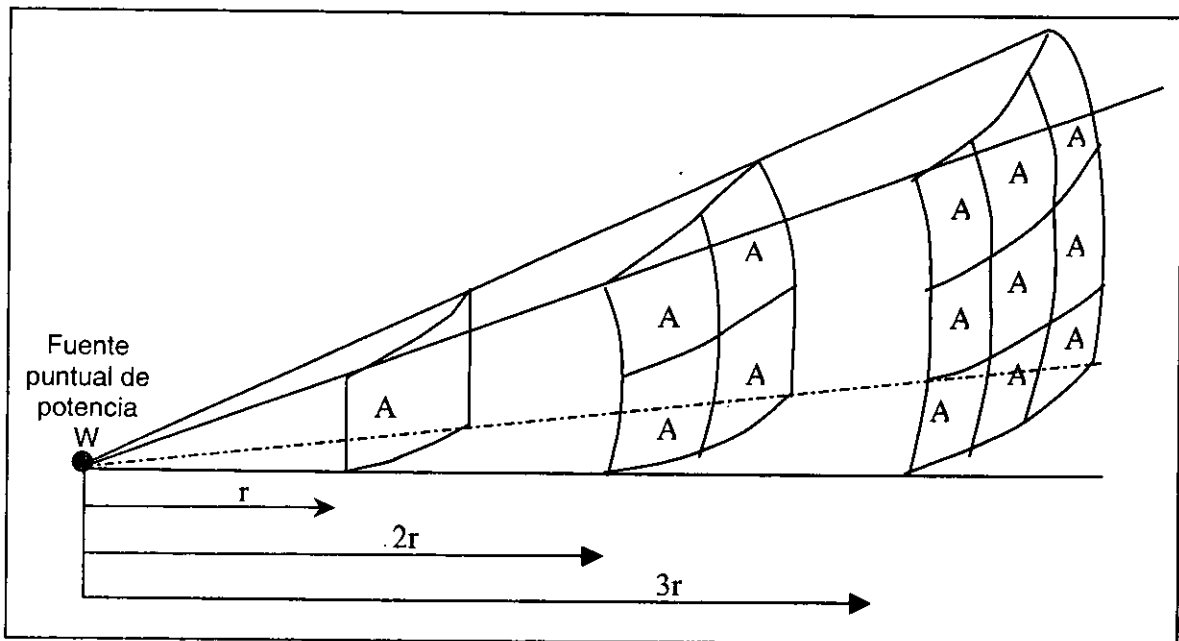


Fig. 5.4.2.2 DISPERSIÓN DEL SONIDO A PARTIR DE UNA FUENTE PUNTUAL

distancia entre los frentes de onda que representan las presiones pico sucesivas, será la longitud de onda. Este hecho es importante al considerar los efectos de las reflexiones dentro del campo sonoro.(fig. 5.4.2.2)

La energía sonora se dispersa igualmente en todas las direcciones, de modo que al viajar más y más lejos de la fuente, incide sobre un área esférica cada vez mayor. Si se acepta que no se favorece la disipación, toda la potencia de salida de la fuente pasa a través de una escafandra esférica de radio r . Por tanto, la intensidad es la potencia de la fuente dividida entre el área de esta esfera.

Así tenemos:

$$I = W / 4\pi r^2 \quad \text{Ec. 5.4.2.1}$$

Como puede verse, la intensidad es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre la fuente y el receptor; esto es, se atenúa en 6 dB al doblar la distancia a la fuente.

5.4.3. FUENTE LINEAL

Tal es el caso de una fuente de radiación continua a lo largo de toda la línea como sucede, por ejemplo, con un tubo en el que circula un flujo turbulento. Pero también puede tratarse de una fuente compuesta por un gran número de fuentes puntuales que tienen la característica de estar tan cerca una de otra, que sus emisiones pueden considerarse como una emanación continua proveniente de una línea imaginaria que las une.

Las fuentes industriales que se incluyen en esta categoría son aquellas con las máquinas y bandas transportadoras poco espaciadas entre sí. En la figura 5.4.3.1 se presenta parte de una fuente lineal infinita cuya potencia es constante en cada longitud unitaria. Como se ve, el frente de onda se dispersa desde la línea únicamente en una dirección perpendicular a la de su trayectoria, a sí que cualquier punto a la misma distancia de la línea en esta dirección, está sobre el mismo frente de onda y por lo tanto tiene las mismas propiedades. Como puede apreciarse en la misma figura, esto origina que los frentes de onda formen superficies cilíndricas concéntricas (considerando solo la envolvente del cilindro) alrededor de la fuente lineal como eje. Por lo tanto, la intensidad en cierto radio dado es la potencia emitida por este elemento de la fuente dividida entre el área de la superficie cilíndrica elemental (de la envolvente respectiva).

Tenemos

$$I = W / 2\pi r h \quad \text{Ec. 5.4.3.1}$$

Donde $r = h$

Queda manifiesto pues, que en el caso de las fuentes lineales, la intensidad es inversamente proporcional a la distancia a la fuente; esto es, se atenúa en 3 dB cada vez que se dobla esta distancia.

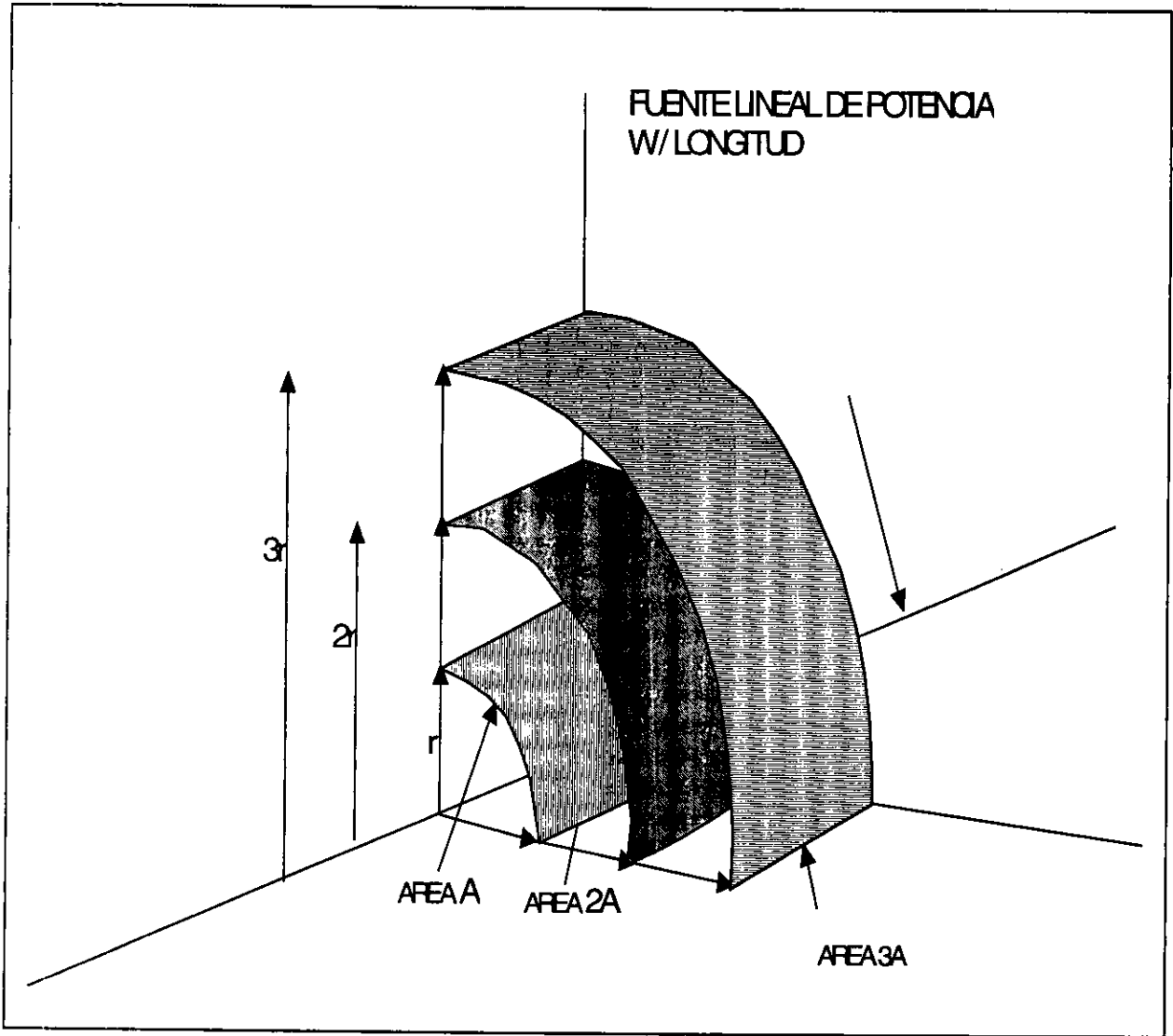


Fig 5.4.3.1 La dispersión del sonido desde una fuente lineal

5.5. SEGUIMIENTO DEL SONIDO GENERADO

Una vez generado el sonido, las ondas sonoras se propagarán según la fuente que los haya originado: plana, puntual a lineal. Pero independientemente de la atmósfera. Si no encuentra algún otro obstáculo, seguirán hasta que toda su energía haya sido absorbida por las capas de aire; pero si llegan a entrar en contacto con alguna superficie, parte de su energía será reflejada, otra parte será absorbida y otra será transmitida a través de ella.

5.5.1. REFLEXIÓN DE CAMPOS SONOROS EN RECINTOS CONFINADOS

Si la absorción y la transmisión son bajas, y por lo tanto la mayor parte de la energía sonora incidente sobre la superficie se refleja, se dice que ésta es acústicamente dura; entonces puede considerarse que refleja el sonido en una forma muy semejante a como lo hace un espejo en el caso de la luz.

Este fenómeno de reflexión es muy importante en las mediciones de sonido, pues la presión sonora instantánea en algún punto en el campo es debida a la radiación directa de la fuente y al sonido que llega indirectamente después de una o más reflexiones en las superficies en las que una parte de su energía, aunque pequeña, es absorbida. Pero además, los frentes de onda reflejados y los que llegan directamente de la fuente se esfuerzan o cancelan uno al otro donde se cruzan. Según la geometría de la superficie reflejante, pueden ser muy variados los efectos de la reflexión sonora. En general encontramos superficies curvas, rincones en ángulo recto y superficies paralelas.

Superficies curvas. Pueden ser cóncavas o convexas. En el primer caso se concentran los rayos y en el segundo se dispersarán.

Rincones de 90°. El rayo incidente sufrirá una doble reflexión, después de la cual regresará siguiendo una trayectoria diferente pero paralela a aquella con la que incidió.

Superficies paralelas. Estas causan dos importantes efectos: 1) la formación de ondas estables, lo que ocurre a frecuencias tales que entre las superficies se presentan en número entero de medias longitudes de onda, dando lugar a una variación muy grande de la presión sonora y 2) el eco confuso debido a la reflexión continua y regular de un pulso desde las superficies paralelas de baja absorción. Así tenemos el campo cercano y el campo lejano; este último formato a su vez por el campo libre y el campo reverberante o difuso.

Campo cercano. En cualquier campo sonoro habrá una región cerca de la fuente de ruido que constituye una capa límite dentro de la que ocurre un decremento abrupto de tipo exponencial, de la presión sonora. Al efectuar las mediciones usualmente se evita este campo por que en él no hay una relación sencilla entre la

intensidad sonora y otros parámetros físicos tales como la presión y el desplazamiento de las partículas.

Campo lejano. A continuación del campo cercano se tiene la primera de las dos zonas que forman el campo lejano: la del llamado campo libre, donde, como el término lo sugiere, el sonido se comporta como si estuviera al aire libre en espacio abierto, sin superficies reflejantes que interfieran en su propagación.

En el **campo libre** se sigue la ley de la disminución de que cada vez que se dobla la distancia a la fuente emisora, se disminuye el sonido de una cantidad fija dada de 6 dB. Así si a 1 m se tiene X cantidad de sonido, a 2 m se tendrá X-6, a 4 m disminuirá (X-6)-6= X-12, etcétera.

La segunda zona de este campo lejano se encuentra más allá de la de campo libre y es una región dominada por el sonido reverberante, formada por la continua reflexión de las ondas sonoras. Efectivamente, cerca de las superficies de un recinto (piso, techo, muros, etcétera) que contiene fuentes de ruido, las ondas sonoras sufren un incremento debido al efecto de reflexión o reverberación de las mismas. Denominada **campo reverberante**.

En ocasiones este campo reverberante da lugar a la generación del llamado campo difuso, donde a veces ni siquiera se llegan a dar condiciones de campo libre. En este campo la densidad de energía sonora media tiene el mismo valor en todos los puntos y la potencia sonora medida por unidad de superficie (intensidad sonora) es la misma en todas direcciones.

5.5.2. ABSORCIÓN

Siempre que una onda sonora alcanza una superficie, una parte de su energía se absorbe en ella. La absorción es función de varios parámetros, incluyendo la rugosidad efectiva (relación entre longitud de onda y las dimensiones de las irregularidades de la superficie), la porosidad, la flexibilidad y en algunos casos las propiedades de resonancia de la superficie.

La mayoría de los mecanismos de absorción dependen de la frecuencia, de modo que tiene que conocerse el espectro del ruido involucrado para juzgar su efecto tanto en interiores como al aire libre. Aquí es donde se resalta la importancia de la longitud de onda, esencial para la selección de métodos de control, y destaca el hecho de que por cuestiones energéticas, las ondas más largas con mayor contenido de energía se propagan con facilidad y son difíciles de controlar. Inversamente, las ondas de alta frecuencia (de pequeña longitud de onda), se absorben y/o reflejan con facilidad.

5.5.3. TRANSMISIÓN Y DIFRACCIÓN

El resto de la energía de la onda sonora que al incidir con una superficie ha sufrido reflexión y absorción parciales de su contenido energético, se transmite a través de esta superficie, generando una nueva onda atenuada del otro lado de ella. Así

hablamos del coeficiente de transmisión sonora que representa la fracción del sonido incidente, que es transmitido.

Además, es importante considerar aquí lo que sucede con la porción de la onda que se encuentra en las inmediaciones de la barrera, pero que no ha entrado en contacto con ella o bien, que pasa a través de ella pero sin tocarla, por medio de una abertura. Esto da origen al fenómeno llamado **difracción**.

En efecto cuando una onda sonora de baja frecuencia encuentra una barrera cuyo espesor es pequeño con relación a su longitud, esta onda pasa rodeándola casi como si aquella no existiera, formando muy poca sombra. Pero si la longitud de onda es suficientemente corta (alta frecuencia) se forma una sombra notable.

Para mayor claridad consideramos los casos presentados sobre los efectos de la difracción a bajas frecuencias y para las altas frecuencias presentadas en la siguiente figura. Fig. 5.5.3.1-a, b

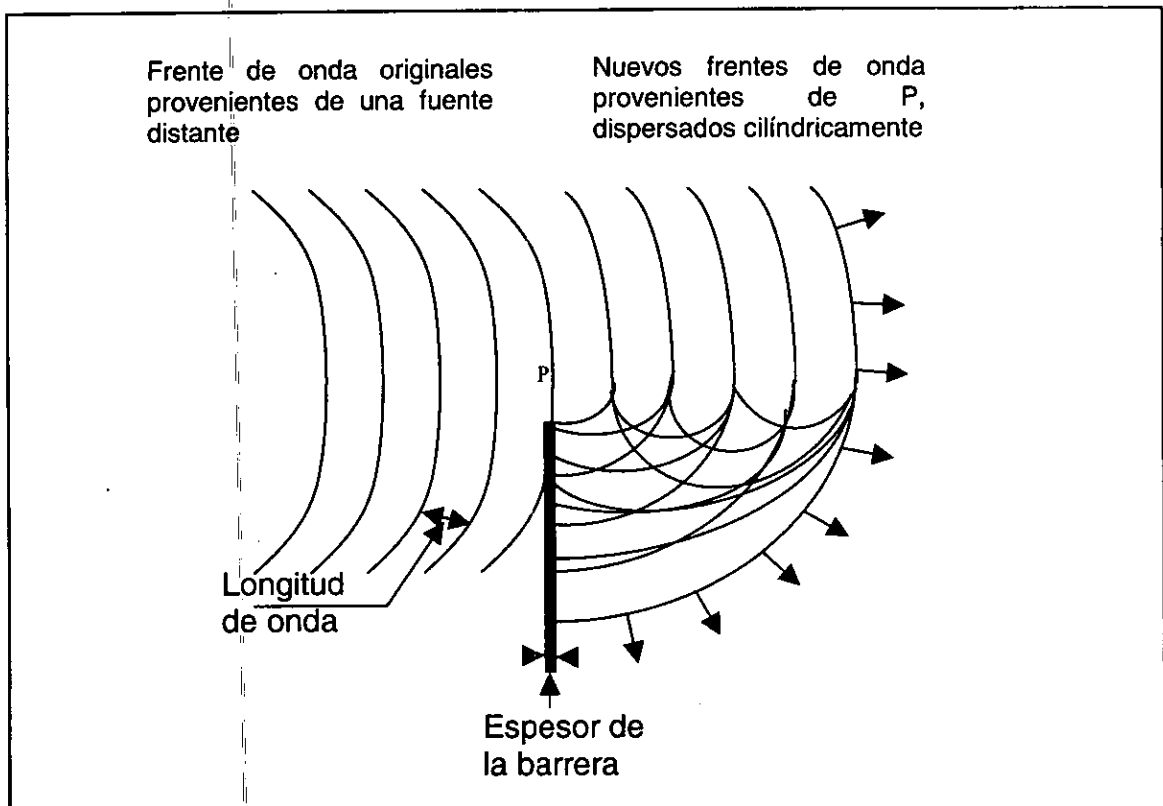


Fig. 5.5.3.1-a EFECTOS DE LA DIFRACCIÓN DE BAJAS FRECUENCIAS

En el caso de la situación en la figura anterior (5.5.3.1-a), se puede considerar el borde de la pared como una fuente de onditas secundarias radiando en todas direcciones. Estas onditas se combinan para formar frentes de ondas que se dispersan cilíndricamente en el cuadrante detrás de la pared, en la llamada región

de sombra. En el caso de la figura 5.5.3.1-b, la abertura la abertura llega a ser efectivamente una nueva fuente puntual radiando hemisféricamente dentro del espacio detrás de la pared, pero con una intensidad más baja, dependiendo del tamaño de la abertura.

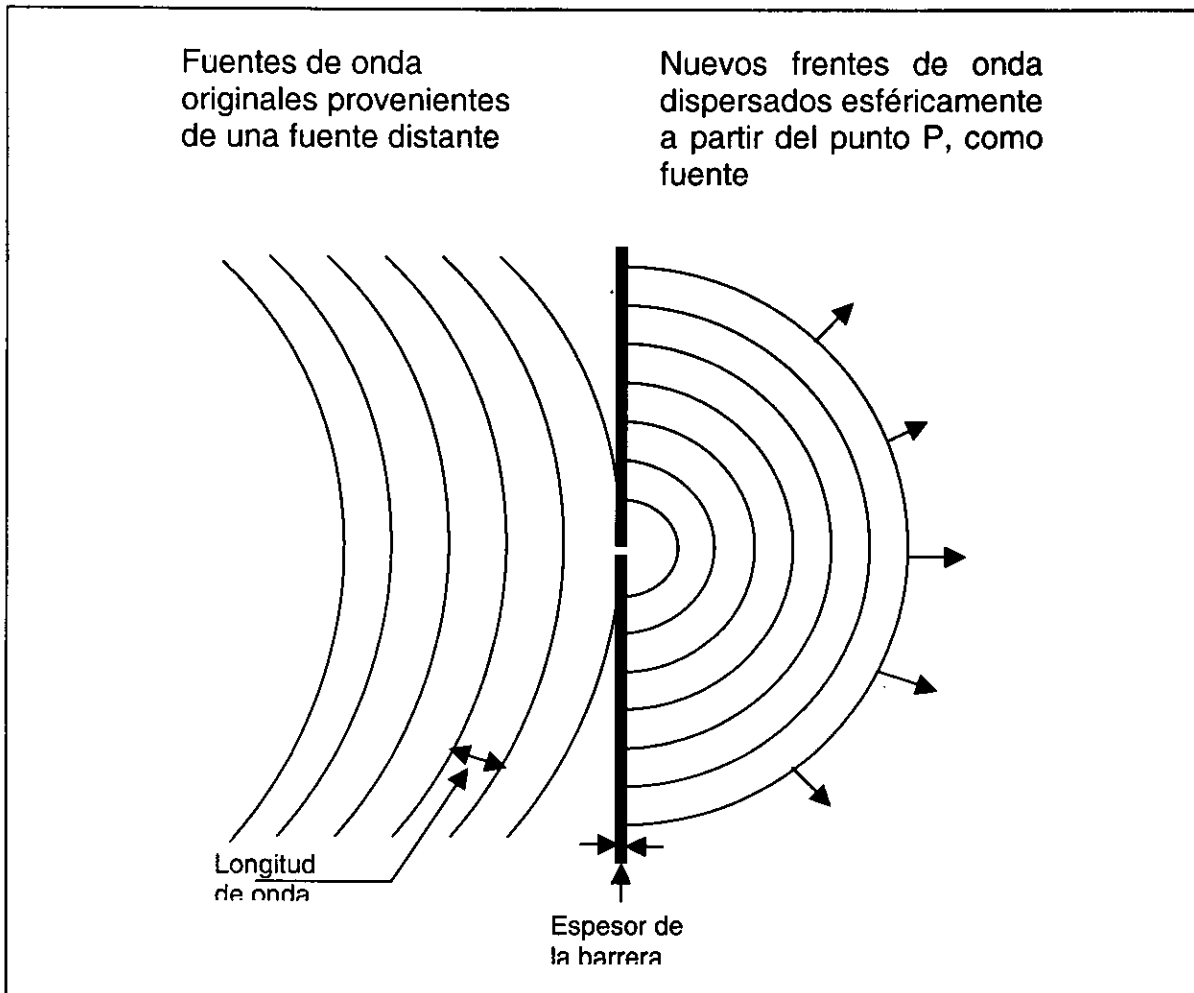


Fig. 5.5.3.1-b Efectos de la difracción a bajas frecuencias.

Cuando se tiene una relación grande entre la longitud de onda y el espesor del obstáculo, la difracción resultante sigue el modelo de la figura 5.5.3.1-a y b. Si esta relación es pequeña, se formará una sombra más evidente detrás de la barrera, o un haz sonoro a través de una abertura caso de la figura 5.5.3.2, o un haz sonoro a través de una abertura (figura 5.5.3.3). Cuando el ángulo entre el rayo proveniente de la fuente a la parte superior de la barrera es pequeño y la línea de ahí al receptor también lo es, se tendrá la mayor atenuación detrás de la barrera. Prácticamente esto significa que la barrera debería estar tan cerca como fue posible, ya sea de la fuente o del receptor para tener en máximo efecto.

Aunque en realidad, al medir las fuentes de ruido en el campo, siempre se prefieren las situaciones de libre obstrucción a menos que sea de interés directo el efecto de la barrera.

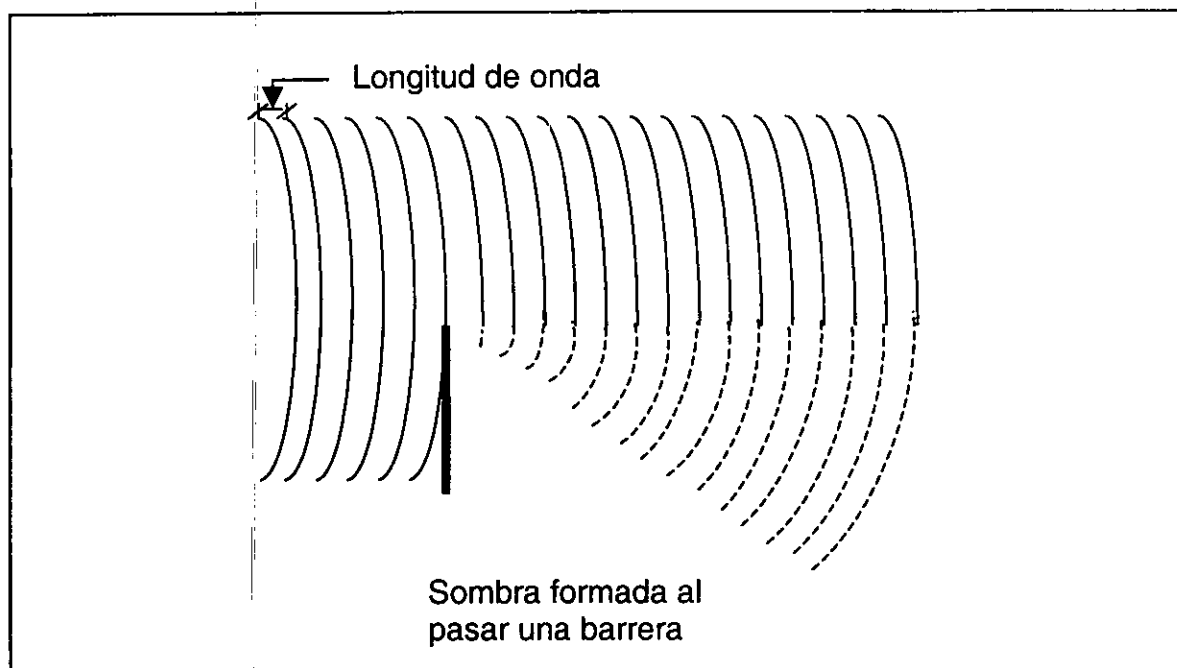


Fig. 5.5.3.2 Efectos de difracción de alta frecuencia

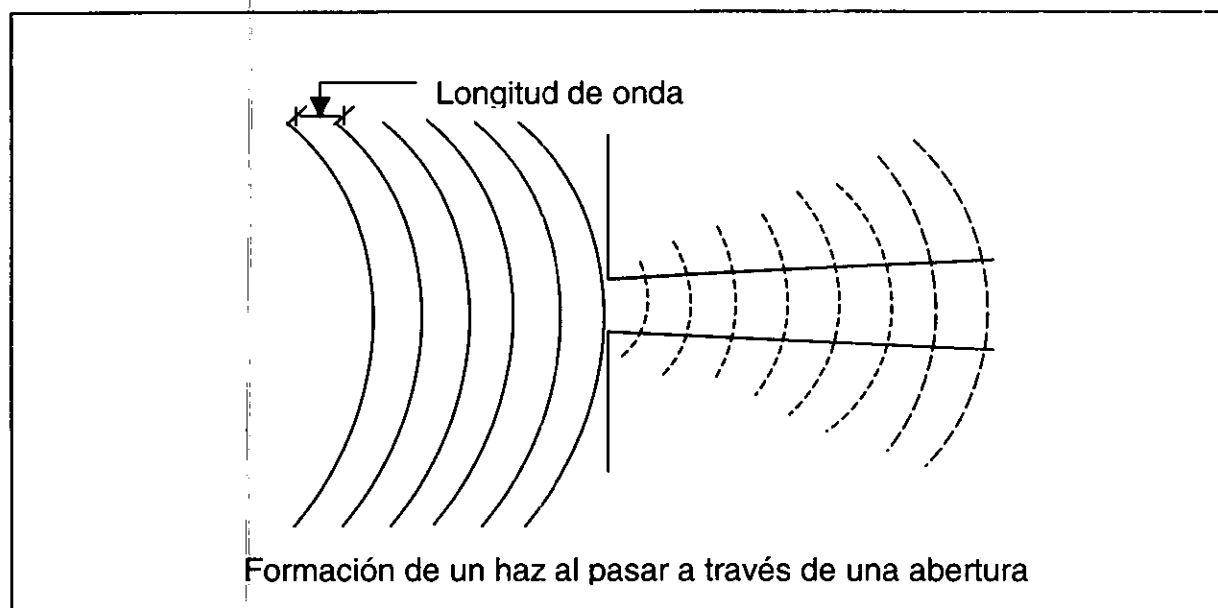


Fig. 5.5.3.3 Efectos de la difracción a altas frecuencias

5.6. PROPAGACIÓN DEL SONIDO

5.6.1. SONIDO EN GASES Y LÍQUIDOS

El hombre entiende por sonido solamente el que se propaga en gases y en especial el que se propaga en el aire atmosférico, naturalmente es posible también la propagación de sonidos en los líquidos y en los cuerpos sólidos.

Como la propagación del sonido en los gases y en el espacio obedece a las mismas leyes físicas, pueden tratarse en conjunto ambas variantes de sonidos. Los gases y los líquidos, con relación a la propagación del sonido, se caracterizan por que no pueden ser elementos de tensiones transversales. En consecuencia, en los gases y en los líquidos aparecen como sonido, solo ondas de densidad con movimiento longitudinal.

Si solamente son posibles ondas de densidad, se puede caracterizar el campo sonoro por las dos magnitudes del campo, presión sonora p , y velocidad del sonido v . La presión sonora p es una presión alterna, cuyo valor en un determinado momento puede ser positivo o negativo. Esta se superpone a la presión atmosférica o hidrostática p_0 , admitiendo siempre que el valor máximo de la presión sonora p es pequeño en comparación con la presión estática p_0 . La velocidad del sonido v es la velocidad alternante de las partículas del medio, que en el caso de ondas de densidad está siempre dirigida paralelamente a la dirección de propagación. Si no se advierte nada en contrario, en lo que sigue serán siempre p y v valores efectivos, es decir, los valores medios de los valores absolutos de la presión y la velocidad. Las ondas de densidad sonora solo la velocidad tiene carácter vectorial, mientras que la presión es un escalar. La presión sonora p y la velocidad del sonido v están relacionadas entre sí por la ecuación de Newton:

$$-\Delta p = \rho_0 \frac{\partial v}{\partial t} \quad \text{Ec. 5.6.1}$$

En la que ρ_0 representa la densidad del medio y t el tiempo. La relación entre densidad y velocidad se deduce de la ecuación de continuidad:

$$-\frac{\partial \rho'}{\partial t} = \rho_0 \operatorname{div} v \quad \text{Ec. 5.6.2}$$

En ella ρ_0 es la componente variable de la densidad, definido por la ecuación $\rho' = \rho - \rho_0$, en la que ρ representa el valor instantáneo de la densidad.

La relación que falta entre presión variable del sonido p y la densidad variable ρ' , viene dada por la ley de los gases. Como la variación de presión en el caso del sonido se realiza muy rápidamente, y la conductividad calorífica en los gases es muy pequeña, la transformación producida por la presión variable del sonido es adiabática. Por lo tanto tenemos:

$$\frac{p_0 + p}{p_0} = \left(\frac{\rho_0 + \rho'}{\rho_0} \right)^x \approx 1 + x \frac{\rho'}{\rho_0};$$

Ec. 5.6.3

$$\rho' \approx p \frac{\rho_0}{p_0 x}$$

En la que $x = \frac{c_p}{c_v}$ representa la relación de calores específicos. Como se desprende de esta deducción, la expresión obtenida para $\rho' \ll \rho_0$ o $p \ll p_0$, si se sustituye la ecuación 5.6.3 en la ecuación 5.6.2, disponemos entonces de dos ecuaciones 5.6.1 y 5.6.2 para el cálculo de las dos magnitudes p y v .

Por diferenciación en la ecuación 5.6.1 y hallando la diferencial con respecto al tiempo en la ecuación 5.6.2, puede eliminarse la magnitud v , permutando el orden de la diferenciación respecto al tiempo y respecto al lugar, obteniéndose para la presión sonora p la ecuación de onda.

$$\Delta p = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2}.$$

Ec. 5.6.4

En ella, c es la velocidad de propagación de las ondas sonoras, que según la ecuación 5.6.3 en los gases estará dada por

$$c = \sqrt{\frac{p_0 \cdot x}{\rho_0}}$$

Ec. 5.6.5

La velocidad del sonido en los gases es, por lo tanto, independiente de la presión estática p_0 , mientras la presión y la densidad sean proporcionales entre sí. Al aumentar la temperatura a presión constante la densidad disminuye y, por lo tanto, aumenta la velocidad del sonido al aumentar la temperatura.

Para los líquidos, la velocidad del sonido se da generalmente así:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\beta \rho_0}}$$

Ec. 5.6.6

β representa la compresibilidad del líquido.

En muchos casos la ecuación de onda se formula, no para una de las magnitudes, sino respecto a un potencial de velocidad basado en ambas magnitudes Φ definido por la ecuación.

$$v = \Delta \Phi$$

Ec. 5.6.7

según la ecuación 5.6.1, la presión variable sonora estará dada por

$$p = -\rho_0 \frac{\partial \Phi}{\partial t} \quad \text{Ec. 5.6.8}$$

la ecuación de onda

$$\Delta \Phi = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} \quad \text{Ec. 5.6.9}$$

en el caso de que tenga una sola dimensión, por ejemplo, para ondas planas en la dirección x , tiene la solución general

$$\Phi = f\left(t \pm \frac{x}{c}\right) \quad \text{Ec. 5.6.10}$$

esta, por consiguiente, es satisfecha por cualquier función que se propague en la dirección $\pm x$ con una velocidad c , la solución es:

$$\Phi = \Phi_0 e^{j\omega t} e^{\pm jkx} = e^{j\omega\left(t \pm \frac{x}{c}\right)} \quad \text{Ec. 5.6.11}$$

En la que representan $k = \frac{\omega}{e} = \frac{2\pi}{\lambda}$ el número de ondas, ω la frecuencia del circuito y λ la longitud de onda. En el caso de funciones periódicas, de las ecuaciones 5.6.7 y 5.6.8 se obtiene para una propagación en la dirección $+x$, velocidad v y presión variable sonora p :

$$\begin{aligned} v &= -jk\Phi, \\ p &= -j\omega\rho_0\Phi \end{aligned} \quad \text{Ec. 5.6.12}$$

el cociente de la presión sonora y la velocidad del sonido es

$$\frac{p}{v} = \frac{\omega\rho_0}{k} = \rho_0 c \quad \text{Ec. 5.6.13}$$

Y se denomina resistencia del medio a las ondas planas esta caracteriza al medio, ya que indica cual es la presión sonora necesaria para lograr una determinada velocidad del sonido. El valor de la resistencia de onda, en el caso del aire a la temperatura ambiente, se eleva a 42 unidades c. g. s. y, en el caso del agua, a 150 000 unidades cegesimales.

Además de las ondas planas son de especial interés las ondas esféricas, es decir, las ondas que, partiendo de un punto, se propagan regularmente en todas las direcciones. La ecuación (5.6.9) de onda en coordenadas esféricas, para el caso especial de campos esféricos simétricos, se expresa así:

$$\frac{\partial^2(r\Phi)}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2(r\Phi)}{\partial t^2} \quad \text{Ec. 5.6.14}$$

En la que r representa la distancia al origen. La solución, en el caso de excitación periódica, viene dada por

$$\Phi = \frac{\Phi_0}{r} e^{j\omega t} e^{-jkr} \quad \text{Ec. 5.6.15}$$

En el exponente de la función del espacio está solo el signo menos, ya que el signo más significaría una onda esférica que viniera del infinito al origen, lo que en la realidad no sucede.

Según la ecuación 7 y 8, de esta solución se deduce para la presión sonora p , potencial de velocidad del sonido v

$$p = -\Phi_0 \frac{\omega j \rho_0}{r} e^{j\omega t} e^{-jkr} \quad \text{Ec. 5.6.16}$$

$$v = -\Phi \left(j \frac{k}{r} + \frac{1}{r^2} \right) e^{j\omega t} e^{-jkr}$$

Para una distancia al origen r , suficientemente grande, se puede despreciar el componente cuadrado de la velocidad v . La relación de la presión sonora y de la velocidad del sonido da de nuevo la resistencia de onda Z , que en este caso se entenderá como la resistencia que opone el medio por unidad de superficie a la variación periódica del radio r de una esfera pulsátil. De esto se deduce

$$\frac{p}{v} = Z = \rho_0 c + \frac{jkr}{1 + jkr} \quad \text{Ec. 5.6.17}$$

Para valores grandes de r , la resistencia de onda para ondas esféricas tiende al valor $\rho_0 c$, que se dedujo de la ecuación 5.6.13 para las ondas planas. Escrita de otro modo, la ecuación 5.6.17 se expresa así:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{\rho_0 c} + \frac{1}{j\omega \rho_0 r} \quad \text{Ec. 5.6.18}$$

La resistencia Z se puede imaginar, por lo tanto, compuesta de la conexión en paralelo de una resistencia real con otra resistencia imaginaria.

5.6.2. EL SONIDO EN LOS CUERPOS SÓLIDOS

El hecho de que los cuerpos sólidos puedan admitir fuerzas transversales, da lugar a que en los cuerpos sólidos aparezcan, a demás de las ondas de densidad que también existen en los medios líquidos y gaseosos, otras clases de ondas cuyas propiedades dependen, en parte de la geometría de los cuerpos sólidos. La definición de campo sonoro es más complicada para la propagación del sonido en los cuerpos sólidos, por aparecer estados de tensión que tienen carácter vectorial en lugar de la presión escalar.

Ondas de densidad.

Para las ondas de densidad cuya velocidad es puramente longitudinal, se deduce la velocidad de propagación en cuerpos sólidos a partir de

$$c = \sqrt{\frac{k}{\rho}} \quad \text{Ec. 5.6.19}$$

En la que k es el módulo de compresión. Estas ondas aparecen solamente en medios de dimensiones ilimitadas, es decir, siempre que en la práctica las dimensiones del medio en todas las direcciones sea grande en comparación a la magnitud de onda.

Ondas transversales.

En las ondas transversales la velocidad del sonido es perpendicular a la dirección de propagación de la onda. La velocidad de propagación esta dada por

$$c = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad \text{Ec. 5.6.20}$$

En la que G es el módulo de deslizamiento del medio. Las ondas transversales aparecen igualmente solo en medios extendidos ilimitadamente, es decir, en cuerpos cuyas dimensiones sean grandes en comparación a la longitud de onda.

Ondas de torsión.

Las ondas de torsión son, en cuanto a su carácter, ondas transversales en las que la velocidad del sonido en este caso, está dirigida paralelamente en arcos de círculos alrededor del eje de la onda. A diferencia de las ondas transversales, las ondas de torsión aparecen también en medios limitados, por ejemplo en varillas. La velocidad de propagación en varillas con corte transversal circular viene dada por la ecuación 5.6.20. para ecuaciones transversales cuadradas vale la ecuación:

$$c = 0.898 \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad \text{Ec. 5.6.21}$$

Ondas de alargamiento.

Las ondas de alargamiento son ondas longitudinales en medios limitados. Aparecen cuando al menos la dimensión del medio en una dirección es menor que la longitud de la onda de densidad (varillas, placas). Debido a que el medio a causa de la acción de la fuerza alterna, puede desviarse lateralmente, a parece junto a la velocidad longitudinal una componente de velocidad transversal. La posibilidad de desplazamiento lateral tiene como consecuencia que el medio sea algo flexible y la velocidad de propagación algo menor que en las ondas de densidad. La velocidad de propagación para estas ondas en varillas viene dada por

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Ec. 5.6.22

En la que E es el módulo de elasticidad del material de la varilla.

Ondas de Rayleigh. (Ondas superficiales)

Las ondas de Rayleigh se propagan a lo largo de las superficies de las capas del medio cuyo espesor sea mayor que la longitud de onda de la onda de densidad. En este caso el medio solo puede desviarse hacia un lado. La velocidad tiene, como en las ondas de alargamiento, componentes longitudinal y transversal. Además, la onda de Rayleigh está amortiguada transversalmente, es decir su amplitud es máxima en la superficie y disminuye exponencialmente al aumentar la distancia a la superficie. La velocidad de propagación es

$$c = 0.93 \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

Ec. 5.6.23

Las ondas de Rayleigh prácticamente no juegan papel en la propagación del sonido en los elementos de máquinas o construcción, pero son de gran importancia en la propagación de sacudidas a lo largo de la superficie terrestre.

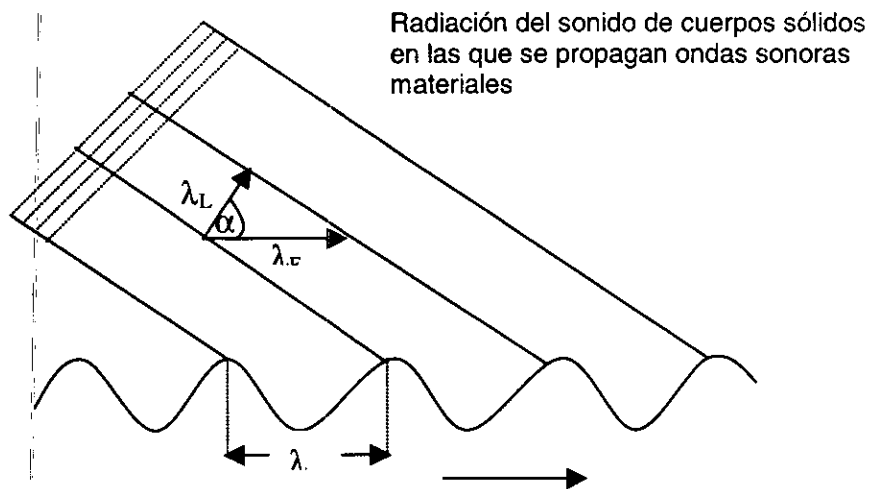


Fig.5.6.2.1 radiación del sonido de cuerpos sólidos, en las que se propagan ondas sonoras materiales

Ondas de flexión.

La onda de torsión es la más complicada y, al mismo tiempo, la más importante para la propagación del sonido en sólidos, en estructuras de cualquier clase. En la onda de torsión aparece un movimiento transversal y un movimiento angular. La velocidad de propagación de la onda de flexión no es constante, sino que aumenta con la raíz cuadrada de la frecuencia. Viene dada por la siguiente fórmula

$$c = \sqrt{\omega} \sqrt{\frac{B}{M}} \quad \text{Ec. 5.6.24}$$

en la que M representa la masa por unidad de superficie y B la rigidez a la flexión, que para una placa se calcula con

$$B = \frac{E}{1 - \sigma^2} \frac{h^3}{12} \quad \text{Ec. 5.6.25}$$

Siendo h el espesor de la placa y σ el índice de contracción transversal.

Para la amortiguación de ruido son de gran importancia todas las clases de ondas que aparecen en medios limitados y que pueden irradiar sonidos al medio circundante. Para la radiación de sonido de este género es necesario en primer lugar, un movimiento importante vertical a la superficie. Estos movimientos transversales aparecen tanto en las ondas de alargamiento como en las de Rayleigh o en las de flexión, siendo estas últimas las que tienen el máximo movimiento transversal. La segunda condición para la radiación del sonido es que la velocidad de propagación, y por lo tanto la longitud de onda, tiene que ser mayores que la velocidad de propagación y la longitud de onda en el medio circundante.

El ángulo α , bajo el cual se produce la radiación, se deduce de la figura 5.6.2.1 es

$$\cos \alpha = \frac{c_L}{c_F} = \frac{\lambda_L}{\lambda_F} \quad \text{Ec. 5.6.26}$$

De la ecuación anterior y de la figura 5.6.2.1 se deduce, sin más, que no puede aparecer ninguna radiación, si la longitud de onda en el medio que rodea es mayor que el medio que irradia, porque, si no, el coseno tendría que ser mayor que la unidad. Este enunciado vale solamente en el caso de que las dimensiones de la superficie radiante sean grandes con relación a la longitud de onda.

Si bien las ondas de alargamiento muestran un movimiento transversal relativamente pequeño, puede ser también de importancia para la propagación de sonido en sólidos, pues en cualquier clase de obstáculos, especialmente en esquinas, el movimiento longitudinal se transforma en transversal y, por lo tanto, la onda de alargamiento en onda de flexión.

5.7. REFLEXIÓN EN SUPERFICIES LÍMITE

En todos los problemas que tengan relación con la amortiguación de ruidos, la reflexión de una onda sonora en la superficie límite de dos medios diferentes juegan un papel decisivo, consideremos con este objeto una superficie plana sobre la que incide perpendicularmente una onda sonora. Distingamos ambos medios en los índices 1 y 2, la propagación del sonido se realiza en la dirección x y supongamos, de acuerdo con la figura 5.7.1, la posición de la superficie límite en lugar de $x = 0$, en este caso se cuenta con una onda incidente señalada por la letra e , una onda reflejada señalada por la letra r , y una onda que atraviesa la superficie señalada por la letra d . Si denominamos además por Z_1 y Z_2 la resistencia ofrecida a las ondas en los dos medios, la presión sonora y la velocidad de las distintas ondas vendrán dadas por

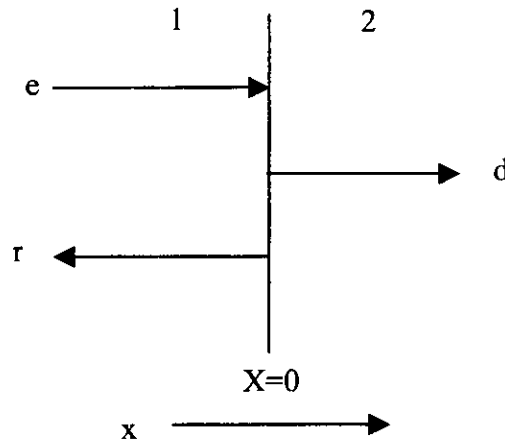


Figura 5.71 Esquema de reflexión en superficies límite

$$p_e = Ae^{j(\omega t - k_1 x)},$$

$$v_e = \frac{A}{Z_1} e^{j(\omega t - k_1 x)}$$

$$p_r = Be^{j(\omega t + k_1 x)},$$

$$v_r = \frac{-B}{Z_1} e^{j(\omega t + k_1 x)}$$

Ec. 5.6.27

$$p_d = Ce^{j(\omega t - k_2 x)},$$

$$v_d = \frac{C}{Z_2} e^{j(\omega t - k_2 x)}$$

de las condiciones de continuidad, que tiene que cumplirse en la superficie límite, se obtiene:

$$A + B = C \quad \text{Igualdad de fuerzas}$$

Ec. 5.6.28

$$\frac{A}{Z_1} - \frac{B}{Z_1} = \frac{C}{Z_2} \quad \text{Continuidad del movimiento}$$

por consiguiente, se deduce que el factor de reflexión r , y para el factor de transmisión d :

$$r = \frac{B}{A} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1},$$

Ec. 5.6.29

$$d = \frac{C}{A} = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1}.$$

Donde

A = superficie de absorción; constante; amplitud.

B = Rigidez a la flexión; constante.

El factor de reflexión r indica la relación de amplitudes de onda reflejada a la onda incidente. Su valor máximo es ± 1 , y para $Z_2 = \infty$ da 0. el factor de transmisión d , indica la relación de la presión sonora de la onda transmitida, a la presión sonora de la onda incidente. Para $Z_2 = \infty$, se obtiene en este caso el valor 2. el que la amplitud de la onda transmitida puede ser mayor que el de la onda incidente parece imposible a primera vista, pero se explica por que en la reflexión total en una superficie límite con una resistencia a la penetración ∞ , se produce una duplicación de la presión. Además el factor de penetración solo, No dice nada todavía sobre la energía de la onda transmitida que, a pesar de la duplicar la presión será muy pequeña para valores grandes de Z_2 , ya que la velocidad es proporcionalmente menor.

La ecuación 5.6.29 indica que se puede conseguir siempre un factor de reflexión grande y, por lo tanto, una amortiguación del sonido elevada, cuando la diferencia entre Z_1 y Z_2 , sea la menor posible. Si Z_1 es pequeño, como en el caso del sonido en el aire, se elegirá para Z_2 un valor grande y, por el contrario, si Z_1 es grande, como en el caso del sonido en el agua o en cuerpos sólidos, se debe procurar un valor pequeño de Z_2 . El signo del factor de reflexión carece de importancia para la amortiguación de ruidos.

En lugar del factor de reflexión, sobre todo en la acústica de recintos, se usa con preferencia el grado de absorción del sonido para definir la propiedad reflectante de superficies. **El grado de absorción** se define como *la fracción de energía de onda incidente que no es reflejada*. Como la energía sonora es proporcional al cuadrado de la presión sonora, se aplica la ecuación

$$\alpha = 1 - r^2$$

Ec. 5.6.30

La expresión "grado de absorción del sonido" quizá esté desafortunadamente elegida, ya que la parte de energía no reflejada no tiene que ser absorbida necesariamente, es decir, transformada en calor, sino que puede haber sido transmitida también al exterior.

El grado de absorción de sonido de las paredes sin revestir, empleando materiales de construcción usuales, es muy pequeño. Es en general 5%. Si se tiene presente que con el grado de absorción del 10 % son necesarias más de 20 reflexiones, para que la energía primitiva de una señal sonora se reduzca en unos 10 dB, es decir, a una décima parte, está claro que la naturaleza de las paredes es de influencia decisiva para la intensidad en el interior de un recinto. La disminución de la amplitud, inversamente proporcional a la distancia, que ocurre siempre al aire libre (ver ecuación 5.6.16), falta en un recinto cerrado, ya que el sonido es conservado por las paredes. La disminución de la amplitud con $1/r$ se observa solo en las proximidades del foco sonoro, mientras que a mayor distancia de r domina un nivel sonoro constante y determinado a causa de las múltiples reflexiones en las paredes. Para poder determinar la intensidad que produce un foco sonoro de una determinada potencia en un recinto cerrado necesitamos, por lo tanto, una medida para la elevación del nivel sonoro producido por la reflexión en las paredes del recinto. Esta medida es el tiempo de reverberación T . Se define como el tiempo mediante el cual la energía sonora en el interior del recinto, se reduce a una millonésima del valor inicial o, lo que es lo mismo, 60 dB después de conectar el foco sonoro. El tiempo de reverberación depende naturalmente de la capacidad de absorción medida de las superficies que limitan el recinto, y también del volumen, pues en un recinto pequeño las reflexiones se suceden muy seguidas. Y esto produce una rápida atenuación de la energía sonora.

Para el cálculo del tiempo de reverberación se produce como sigue: se sustituye en primer lugar la capacidad total de absorción del recinto, por una superficie de

ventana equivalente A. En el sentido de la acústica de recintos, la superficie de una ventana tiene un grado de absorción $\alpha = 1$, ya que toda la energía que incide sobre la ventana es radiada hacia el exterior y, por lo tanto, no es reflejada en el recinto. La superficie de ventana A, o superficie de absorción del sonido de un recinto, viene dada por

$$A = \sum \alpha_i S_i \quad [m^2] \quad \text{Ec. 5.6.31}$$

En la que α_i representa el grado de absorción del sonido en las superficies parciales de extensión S_i . La situación de la capacidad de absorción del recinto por una superficie completamente absorbente, de extensión A, aún en el caso de paredes reflectantes ideales, únicamente conduce a tiempos de reverberación iguales cuando el campo sonoro es suficientemente difuso y, por lo tanto la disposición de las superficies de absorción juega papel. Esta situación puede considerarse satisfecha siempre que el recinto sea grande en todas direcciones, en comparación con la longitud de onda del sonido, o cuando en su interior se encuentran obstáculos que dispersan en sonido como muebles máquinas o cosas similares.

Entonces determinamos en primer lugar la densidad de energía E_0 , producida en el recinto por un foco sonoro de potencia L que emite permanentemente. Como hemos aceptado que las paredes son reflectantes ideales, en estado estacionario la potencia que salga por la superficie de ventana A tiene que ser igual a la potencia N del foco sonoro. La potencia que sale a través de la ventana se calcula multiplicando la superficie de la misma A, la densidad de energía en el plano de la superficie de la ventana y la velocidad de propagación media de la energía perpendicularmente a la superficie de la ventana. Suponiendo que en el recinto todas las direcciones sean equivalentes exigencia que se cumple con las condiciones citadas anteriormente, la densidad de energía en la superficie de la ventana es igual a $E_0/2$, ya que no entra energía del exterior y, por lo tanto, faltan la mitad de las direcciones de propagación posibles. La velocidad de propagación en la dirección a la ventana es $c \cdot \cos \varphi$, siendo φ el ángulo formado por la dirección de propagación y la normal a la superficie. El promedio de todos los ángulos (semiesfera) da como velocidad media $c/2$. por lo tanto:

$$N = E_0 \frac{A \cdot c}{4}, \longrightarrow E_0 = \frac{4N}{Ac} \quad \text{Ec. 5.6.32}$$

Donde N = potencia sonora

La densidad de energía que se establece en un recinto es, por lo tanto, inversamente proporcional al valor absoluto de la superficie de absorción.

Según la ecuación 5.6.32 se puede tener la impresión de que sería posible disminuir el nivel sonoro en un recinto todo lo que se deseara por medio de materiales absorbentes. Según las hipótesis hechas previamente, esto es válido

en tanto exista realmente un nivel estacionario independiente del lugar. Si se hicieran por ejemplo todas las paredes completamente absorbentes, de todos los focos sonoros se propagarían ondas esféricas, en las cuales la presión sonora es inversamente proporcional a la distancia al foco. El nivel producido en el lugar de medida por estas ondas esféricas no estorbadas, no puede rebajarse por ninguna medida en las paredes.

La zona dentro de la cual no es posible disminuir el nivel sonoro por las medidas tomadas dentro del recinto, está dada por el radio del sonido. Por radio del sonido se entiende la distancia R al foco sonoro en la que el nivel en la onda esférica sin perturbar, según la ecuación 5.6.16, sería igual que el nivel estacionario dentro del recinto. Si se disminuye, por lo tanto, el nivel estacionario por medidas en las paredes, se aumenta el radio del sonido.

En este caso ya hay que sustituir en la ecuación 5.6.32 A por $A/(\alpha-1)$, en la que α es el grado medio de absorción de sonido de las superficies que limitan el recinto. En las consideraciones anteriores se ha comprendido, conscientemente, el sonido directo. Más allá del radio del sonido la corrección es despreciable por pequeña, de forma que también en otros casos se puede usar simplemente la ecuación 5.6.32.

Para el cálculo del tiempo de reverberación T tenemos que considerar la resonancia del recinto después de suprimir el foco sonoro. Si llamamos E al contenido total instantáneo de energía del recinto, dE/dt es la energía que marcha a través de la ventana y E/V la densidad de energía en ese momento, siendo V el volumen del recinto. De la ecuación 32 se deduce para la energía consumida la ecuación diferencial

$$-\frac{dE}{dt} = \frac{EA\alpha}{4V} \quad \text{Ec. 5.6.33}$$

con la solución

$$E = E_0 e^{-\frac{A\alpha}{4V}t} \quad \text{Ec. 5.6.34}$$

de la ecuación 5.6.34 se deduce el tiempo T, en el cual disminuye el nivel unos dB

$$T_{sab} = 0.163 \frac{V \left[\frac{m^3}{m^2} \right]}{A \left[\frac{m^2}{m^2} \right]} [s] \quad \text{Ec. 5.6.35}$$

Para tiempos de reverberación no demasiado pequeños, o recintos no demasiado grandes, la suposición está plenamente justificada.

5.8. ABSORCIÓN DEL SONIDO

La propagación de las ondas sonoras no se realiza nunca sin pérdidas, sino que está supeditada siempre a una mayor o menor amortiguación; es decir, la presión o la velocidad disminuye siempre al aumentar la distancia al foco sonoro. Para esta amortiguación existen diferentes causas.

Amortiguación de propagación

La llamada amortiguación de propagación en sentido estricto, ya que no está unida a pérdida de energía, se trata más bien de una disminución de la amplitud del sonido, que se origina por la distribución de la energía en un volumen mayor. Así, la densidad de energía de una onda sonora disminuye forzosamente, de una manera inversamente proporcional al cuadrado del radio r . Únicamente en las ondas planas, que en la práctica solo pueden realizarse en canales, no aparece una disminución de la amplitud de esta clase.

Amortiguación clásica.

La llamada amortiguación clásica es aquella que es atribuible a la viscosidad del medio, es decir, al roce interno y a la transmisión del calor. Es evidente que se pierde energía sonora por la viscosidad. Numéricamente, el coeficiente de absorción viene dado por

$$\alpha = \frac{2}{3} \frac{\eta}{\rho_0} \cdot \frac{\omega^2}{c^3}; \quad \text{Ec. 5.6.36}$$

En la que $\frac{\eta}{\rho_0}$ significa la viscosidad cinemática del medio que transporta el sonido.

La dependencia de la frecuencia que viene expresada en la ecuación 5.6.36, se caracteriza de todas clases de amortiguación. El coeficiente de absorción α aumenta con el cuadrado de la frecuencia, de forma que la magnitud α/ω^2 es una constante.

La dependencia de la frecuencia indica, también, que la transformación en el sonido no se realiza rigurosamente de una manera adiabática, a consecuencia de la transmisión de calor que tiene lugar. Sin embargo, la amortiguación por transmisión de calor solo juega un papel esencial en medios con un índice de transmisión de calor extremadamente alto, como por ejemplo el mercurio.

Amortiguación molecular

En la mayor parte de los medios, la amortiguación del sonido es mucho mayor que la que es de esperar de las causas "clásicas" antes citadas. Así, por ejemplo, la amortiguación en agua dulce es tres veces mayor que la amortiguación clásica y, en el agua de mar, treinta veces mayor. Para la amortiguación en el aire no se pueden dar datos numéricos, ya que la amortiguación depende fuertemente de la humedad del aire. De esta amortiguación superior es responsable en todos los casos un proceso de relajación molecular.

Si se modifica en un líquido o en un gas la presión, se modifica también con ello la energía de cada una de las moléculas. Puesto que a la presión solo contribuyen los grados de libertad traslatorios de la molécula, la variación de la presión afectará también solamente a éstos. Con esto se perturba la distribución de la energía entre los distintos grados de libertad de translación; las moléculas pluriatómicas de los gases y líquidos tienen también grados de libertad de rotación y de vibración. El reajuste del equilibrio de energía entre los grados de libertad internos y externos no puede realizarse instantáneamente, sino que precisa un determinado tiempo, el cual depende del número de choques y de la probabilidad de excitación del medio. Si, por ejemplo por expansión se resta energía al grado de libertad externa de un gas, en el intervalo de este tiempo, que se denomina tiempo de relajación, una parte de energía de los grados de libertad internos pasará de nuevo al grado de libertad externo. La presión reducida por la expansión aumentará de nuevo algo a consecuencia de este reajuste de equilibrio. En el caso de una compresión repentina, el proceso sucede a la inversa. La presión, elevada en el primer momento. Disminuye algo a causa de la energía debida a los grados de libertad externos durante el tiempo de relajación.

El máximo de amortiguación por relajación está para una frecuencia de $\omega=1/\tau$. Si se representa en un sistema de coordenadas tomando en abscisas $\log \alpha \cdot \lambda$ y en ordenadas $\log \alpha/\omega$, o lo que es lo mismo $\log \omega$, se obtiene para bajas frecuencias un ascenso lineal de unos 45° y, para frecuencias altas, un descenso igualmente recto de 45° al aumentar la frecuencia. La anchura media de una curva de relajación alcanza 4 octavas. Por lo tanto, como en la amortización clásica, para frecuencias bajas, la magnitud α/ω^2 es una constante. La amortiguación por relajación viene dada por la fórmula.

$$\alpha \lambda = \frac{\epsilon \omega \pi \tau}{1 + \omega^2 \tau^2}; \dots \epsilon = \frac{c_\infty^2 - c_0^2}{c_0^2} \quad \text{Ec. 5.6.37}$$

en esta fórmula la magnitud c_∞ es la velocidad del sonido para frecuencias muy altas y c_x la velocidad para frecuencias muy bajas. La magnitud ϵ se denomina valor de relajación.

6. RUIDO EN LA CONSTRUCCIÓN

La técnica de medidas acústicas tiene una importancia capital en la construcción. Contrariamente a lo que sucede en la industria mecánica, rigen para la construcción ciertas normas definidas, cuya observancia se debe exigir no solo desde el punto de vista jurídico sino también por motivos puramente funcionales. Dada la importancia del aislamiento acústico de las paredes y pisos tiene en las viviendas y lugares de trabajo, no asombra que en 1944 aparecieran hojas de normas sobre los problemas del aislamiento acústico en la construcción de edificios DIN 4109, (abril 1944), a las que continuamente se han añadido nuevos apartados. DIN 4110 se ocupa de la realización de las medidas acústicas; DIN 52210 (julio 1952) da unas directrices exactas para la determinación del aislamiento sonoro de las paredes y de los pisos de construcciones, dando detalle del orden y modo de efectuar los ensayos, las definiciones y las unidades y la valoración de los resultados o su representación. Para la determinación del coeficiente de absorción de materiales de construcción, a si como para establecer el tiempo de reverberación en locales cerrados, se pueden encontrar métodos en el anteproyecto DIN 52212 (noviembre 1952).

Relación entre las intensidades L_1 y L_2 y la diferencia D con la frecuencia registrada, en el caso de un tabique ligero, con el fonómetro EZGN y el filtro pasa banda PBO; la curva a ($=L_1$) y la curva b ($=L_2$) representa el umbral absoluto audible a 1 m antes y detrás del tabique; la curva c ($=D$), a trazos, representa la diferencia de intensidades como valor dado de aislamiento en el caso presente.

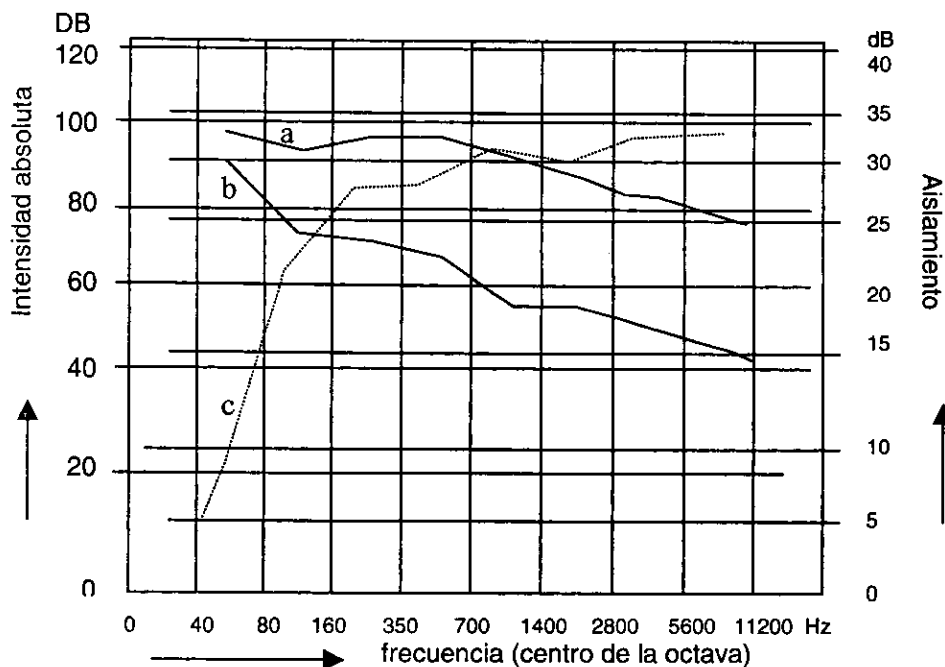


Fig. 6.1 relación entre las intensidades L_1 y L_2 y la diferencia D con la frecuencia registrada, en el caso de un tabique ligero con el fonómetro EZGN y el filtro pasabanda POB la curva "a" ($=L_1$) y la curva "b" (L_2) representan el umbral absoluto audible a 1 m. ante y detrás del tabique, la curva "c" ($=D$) a trazos, representa la diferencia de la intensidad como valor dado de aislamiento

En las mediciones en acústica arquitectónica se trata de observar en una sala receptora (2) la repercusión de la energía sonora generada en una sala emisora (1). Para ello se utiliza la diferencia medible de niveles.

$$D = L_1 - L_2 = 20 \log \frac{p_1}{p_0} - \log \frac{p_2}{p_0} \quad \text{Ec. 6.1}$$

siendo p_0 la presión acústica en el umbral $= 2 \cdot 10^{-4}$ μbar y p_1 y p_2 las presiones (medias) acústicas en la sala emisora y receptora.

Como el valor de la diferencia de los niveles depende de la capacidad de absorción de las paredes y de los objetos en la sala receptora de los que este caso se quiere prescindir, primero se determinan para la sala receptora la superficie absorbente equivalente A , con el método del tiempo de reverberación.

$$A = 0.16 \cdot \frac{V}{T} \quad \text{Ec. 6.2}$$

siendo V el volumen de la sala receptora en m^3 y T el tiempo de reverberación, en s. Se ha convenido en definir como valor de referencia normalizado de una superficie absorbente $A_0 = 10 \text{ m}^2$, resultando para la diferencia de niveles acústicos D_N :

$$D_N = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{10 \cdot T}{0.16 \cdot V} \text{ (dB)} \quad \text{Ec. 6.3}$$

esta diferencia normal de niveles caracteriza el aislamiento entre dos salas; pero no es una medida absoluta para la eficacia de una estructura aislante, ya que la magnitud del tabique compartido entre sala emisora y receptora es tal que con la misma característica aislante de la superficie intermedia, al aumentar la superficie común, se transmite también más energía sonora, resultando que el valor de la diferencia de los niveles se hace menor. Para librarse de su influencia como característica absoluta de una estructura, se defina la unidad de aislamiento R como:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \text{ (dB)} \quad \text{Ec. 6.4}$$

siendo S la superficie separadora común a ambas salas en m^2 y A la superficie absorbente en m^2 . la superficie absorbente A , que se vuelve a obtener por el método del tiempo de reverberación resulta, como arriba, del volumen de la sala receptora V en m^3 y el tiempo de reverberación T , de tal manera que finalmente se obtiene:

$$R = L_1 - L_2 + \log \frac{S * T}{0.16 * V} \text{ (dB)} \quad \text{Ec. 6.5}$$

Para indicar que la transmisión sonora también es posible por otros caminos y debe tenerse en cuenta, entonces se sustituye R por R', lo que recibe el nombre de índice de aislamiento en construcción; este valor representa la unidad prácticamente más importante para determinar el aislamiento sonoro de los tabiques. Si la sala emisora y la receptora no son contiguas sino que se hallan una encima de otra, parte del aislamiento de los ruidos aéreos tiene una gran importancia el aislamiento de los ruidos denominados de pasos, como los producidos de andar o al caer objetos o al limpiar el suelo en la sala emisora situada arriba. Basta con realizar en la sala receptora una medida del nivel sonora y determinar así el valor absoluto de la diferencia de nivel L_T ; este se corrige refiriéndose a la superficie absorbente normalizada $A_0 = m^2$. así se llega al nivel normal sonoro de pisos L_N .

$$L_N = L_T - 10 \log \frac{62 * T}{V} \text{ (dB)} \quad \text{Ec. 6.6}$$

si se mide este nivel bajo condiciones normales, es decir, sin eliminar completamente todos los conductos de transmisión secundaria, entonces se caracteriza por L'_N .

Como ya se mencionó anteriormente al tratar del aislamiento sonoro de las paredes sencillas, es muy importante en peso, o sea el peso por unidad de superficie G (en kg/m^2), que para asegurar una protección aislante suficiente, no debiera de ser inferior a 350. en el caso de paredes con varias capas, es eficaz la acción elástica de la capa intermedia (cámara de aire o material aislante) que, en el caso de doble tabique con los pesos propios G_1 y G_2 da una frecuencia propia muy característica f_0 , valor que se procurará esté por debajo de los 100 Hz para lograr que el aislamiento sonoro no sea inferior al tipo de pared que una sola capa. La frecuencia propia se calcula según la formula

$$f_0 = 500 \sqrt{s' * \left(\frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} \right)} \text{ (Hz)} \quad \text{Ec. 6.7}$$

siendo s' la rigidez dinámica de la capa intermedia a cuyo efecto y,

$$s' = \frac{E_{dyn}}{a} \quad \text{Ec. 6.8}$$

donde E_{dyn} es el módulo de elasticidad dinámica del material a representa la distancia libre entre ambos tabiques en cm. En la practica se puede utilizar como aproximación, para determinar la frecuencia propia f_0 , en el caso de un tabique ligero (peso por unidad de superficie G) delante de una pared pesada con material aislante en el espacio intermedio a .

$$f_0 = 500 \sqrt{\frac{s'}{G}} \text{ (Hz)} \quad \text{Ec.}$$

6.9

en el caso de un espacio intermedio vacío es válido, aproximadamente

$$f_0 = \frac{600}{\sqrt{G \cdot a}} \text{ (Hz)} \quad \text{Ec. 6.10}$$

en el caso de dos tabiques de idéntico peso (por unidad de superficie G) y un espacio intermedio a

$$f_0 = \frac{850}{\sqrt{G \cdot a}} \text{ (Hz)} \quad \text{Ec. 6.11}$$

la frecuencia propia f_0 destaca experimentalmente presentando un salto brusco en la curva de diferencia de niveles entre sala emisora y sala receptora.

En el caso de paredes con superficies homogéneas, como sucede cuando existen puertas y ventanas, hay un índice de aislamiento medio que depende de los índices de aislamiento de cada uno de los elementos y sus superficies.

Como resultado de múltiples pruebas se han fijado unas curvas normativas de aislamiento requerido en la zona de frecuencias entre 100 Hz y 3200 Hz. Los tabiques entre viviendas y los techos no debieran tener un aislamiento medio inferior a 50 dB. Esta cifra se obtiene como media aritmética de una curva registrada, cuya representación tiene en abscisas las frecuencias a escala logarítmica y en ordenadas la diferencia logarítmica de nivel de intensidad en dB a escala lineal. Para hallar el aislamiento en función de la frecuencia se mide en cada octava hasta tres frecuencias utilizando sonidos modulados; en el caso de ruidos (espectro continuo de frecuencias) se trabaja con filtros de tercio de octava. Para tener en cuenta las irregularidades en la distribución del sonido en locales cerrados, se perciben en la medición diversos tipos de instalación de micrófono de medida con el fin de obtener unos valores medios.

Para valorar la eficacia de la protección sonora según los valores medidos, se saca la llamada media de protección sonora (LSM). Para ello, se deja fija la curva medida en el diagrama de frecuencias y se desplaza la curva normativa en sentido vertical, de manera que todas las regiones de la curva en la región desfavorable presenten una media de 2 dB (es decir en la zona de frecuencias entre 100 y 3200 Hz); las regiones que se hallan en la zona favorable con respecto a la curva normativa no se tome en cuenta, es decir se determinan como si se hallarán exactamente sobre la misma. Se determina el desplazamiento necesario de la curva normativa con respecto a la posición inicial y a continuación se fija en índice

de protección sonora valorado positiva o negativamente. Se debe procurar conseguir un índice positivo y se prescribe que éste está + 10 dB con respecto a la curva normativa.

Para hallar el índice de aislamiento de suelos se procede de una forma análoga a la medición del aislamiento de paredes. También en este caso se halla la relación entre la curva medida y la normativa y se desplaza ésta, determinándose el índice de aislamiento de los suelos (TSM). Con respecto al índice anterior se debe indicar que el desplazamiento favorable y desfavorable están invertidos en la representación del diagrama.

Para medir el aislamiento de los suelos, en lugar de los filtros de tercio de octava pueden utilizarse los filtros de octava.

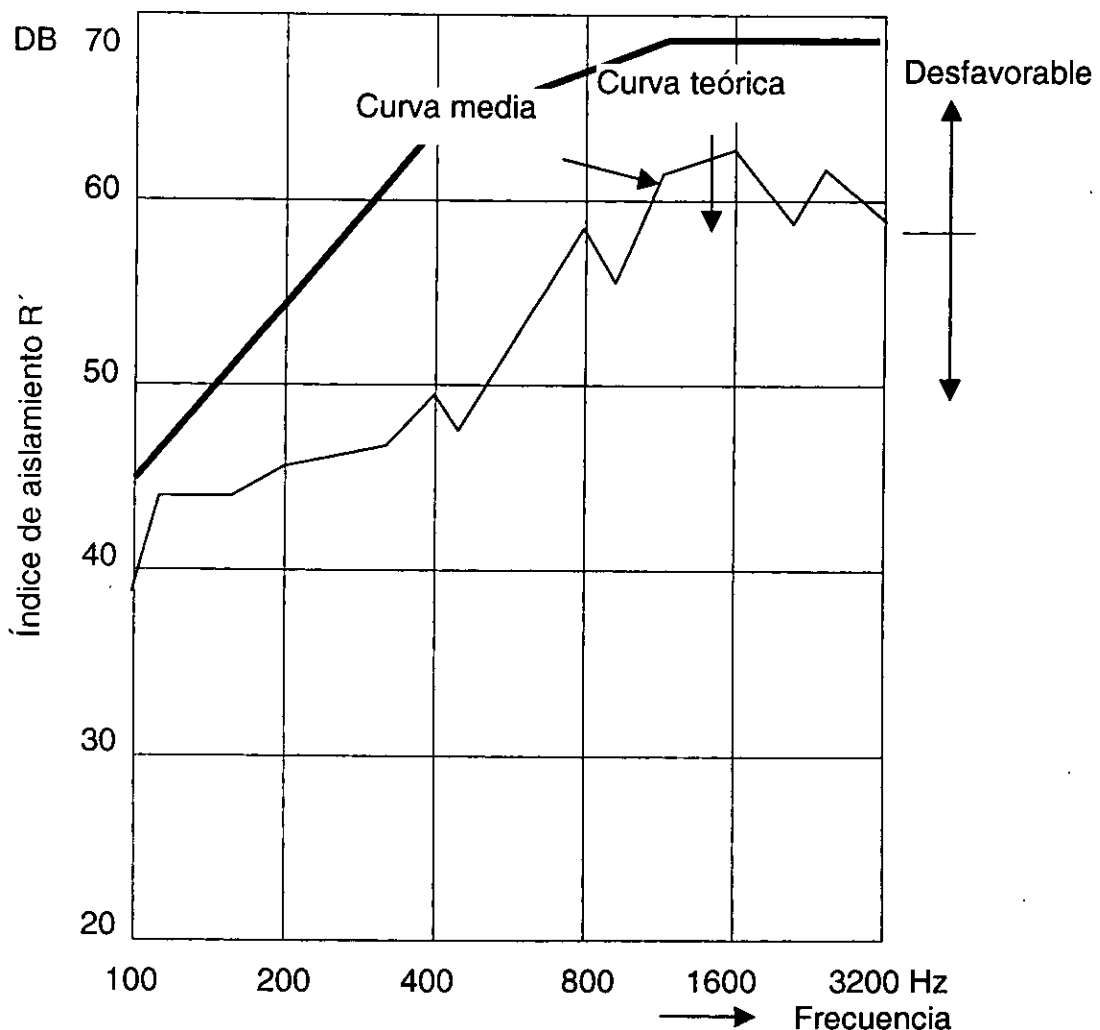


Fig. 6.2 Ejemplo de medida acústica según DIN 4109 curva teórica para tabiques y techos con los caminos secundarios usuales de la transmisión del sonido.

En las hojas de normas también se presentan una serie de diagramas útiles, como los que indican la relación entre el aislamiento y el peso de la pared en (kg/m^2), los índices de aislamiento en el caso de paredes compuestas, las estructuras con puertas y ventanas, los diferentes tipos de estructuras, etc

Además de utilizar de un modo especial en la construcción de viviendas, los instrumentos de medida acústica encuentran gran aplicación en las pruebas efectuadas en estudios, teatros, cines y hospitales, cuyas exigencias acústicas son muy elevadas, tanto para conseguir un buen aislamiento frente a ruidos exteriores como para controlar la inteligibilidad de los espectáculos auditivos. En este caso se efectúan muchas pruebas de reverberación, cuyo efecto son muy apropiados los instrumentos de medida acústica con registro automático.

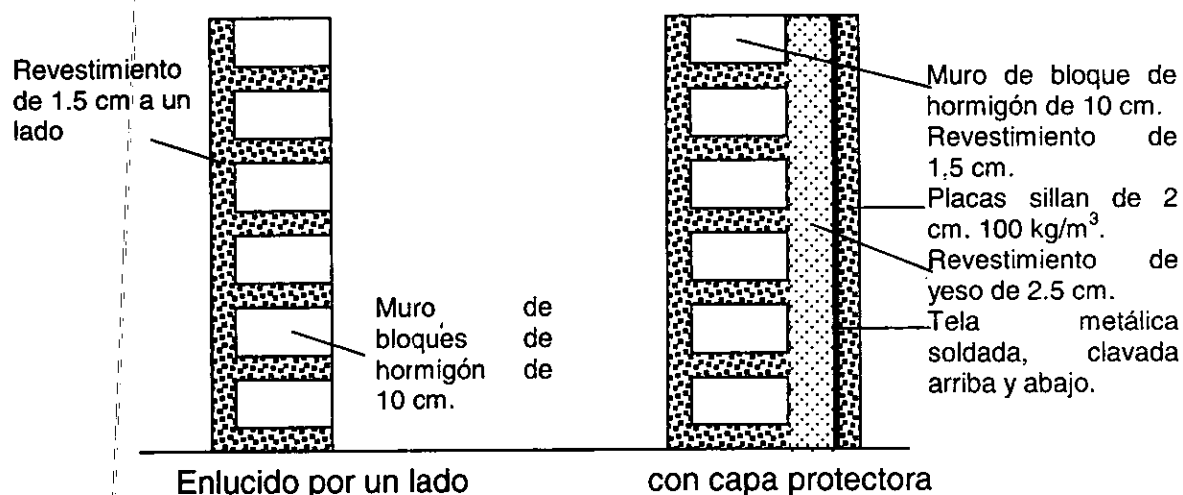


Fig.6.3 Aislamiento de un muro de bloques de hormigón y con revestimiento.

Es muy importante la medida de los valores de aislamiento acústico incluso en los casos ya mencionados, o sea cuando es preciso construir locales de investigación y medición en donde se puedan verificar los valores acústicos de fuentes sonoras con muy débiles niveles de intensidad. Antes de proyectar las cabinas blindadas, se debería obtener el espectro de frecuencias del ruido a eliminar, para escoger convenientemente el material y determinar la forma y la construcción. Tomando las debidas precauciones y amoldándose a las condiciones existente, se puede ahorrar material y trabajo, que en un solo proyecto puede llegar a ser equivalente al monto total de los gastos invertidos en sistemas de medida.

En el caso de protección sonora con elementos arquitectónicos se debe observar que una interrupción en el aislamiento, tanto bajo la forma de un puente acústico (por ejemplo una unión rígida entre paredes dobles con cámara de aire o en un

pavimento flotante) como bajo la forma de una fuga (por ejemplo ranuras y agujeros en puertas y ventanas) puede reducir mucho el efecto deseado, incluso los pequeños orificios se comportan para la sala adyacente como fuentes sonoras autónomas y permite el paso de energías acústicas relativamente grandes comparadas con la sección libre. Entre los puentes acústicos cabe mencionar las tuberías libres o empotradas, que pueden transmitir el sonido incluso a largas distancias en forma de vibraciones, las cuales a su vez se transforman nuevamente en sonido bajo superficies radiantes convenientes con los que se llegan a anular los efectos del buen aislamiento de las paredes.

En construcción, tienen gran importancia las medidas que se deben tomar posteriormente para mejorar el aislamiento de las paredes o para la atenuación del ruido. Se debe observar que, si se efectúa un estudio previo y se miden las condiciones objetivas antes de terminada la obra, se pueden ahorrar muchos gastos y trabajos.

7. BASES PARA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS DE EVALUACIÓN

7.1. JUSTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD DE MEDIDAS ACÚSTICAS

El rápido crecimiento de la densidad de población tiene como consecuencia que los ruidos más o menos evitables, que están relacionados con la vida, el tráfico, la industria y la profesión, se conviertan en una plaga para la humanidad. Por esto se buscan medios para reducir la generación de los ruidos, puesto que éstos son una indicación de imperfecciones en el proceso mecánico.

Para poder juzgar la función y la efectividad de estos medios no se puede confiar enteramente en el oído humano para la percepción de los procesos acústicos, porque:

Por una parte, las diferencias de individuo a individuo pueden ser muy grandes; por otra, puede suceder que el mismo individuo en diferentes momentos juzgue de diferente manera; además el oído humano no puede dar una medida absoluta, representable en cifras, de las magnitudes acústicas; y finalmente, porque no posee una memoria fiel para el tipo y magnitud de su percepción.

La percepción de las diferencias en dos comparaciones consecutivas es bastante considerable, pero cuando hay intervalos largos, como son inevitables en los ensayos de control de ruido, desaparece la posibilidad de comparar con el oído. Si se quiere traducir en términos de validez general la magnitud de los sonidos, es preciso utilizar aparatos objetivos indicadores de medidas, los cuales son:

- a) Para un fenómeno sonoro y su repetición siempre dan el mismo resultado;
- b) Lo expresan en cifras que se pueden recordar fácilmente, y
- c) En fenómenos sonoros de tipo diverso y de diferentes intensidades dan unos valores que se acercan mucho a los valores medios de las relaciones obtenidas por muchos observadores.

7.2. RECOMENDACIONES GENERALES.

El ruido acústico producido por la industria en general tiene consecuencias directas en los seres humanos, sean trabajadores de una fábrica o personas que transitan cerca o viven alrededor de la misma.

La industria produce con el 50% de sus máquinas la cantidad necesaria de ruido para dañar la sensibilidad auditiva de millones de trabajadores en todo el orbe.

Este problema multiforme, tan característico de nuestras ciudades y conglomerados industriales, se manifiesta cada vez con mayor claridad.

Previo al desarrollo de cualquier programa de evaluación, es necesario definir sus objetivos y las variables que pueden ser cuantificadas, así como los procedimientos y estrategias de muestreo.

La selección de los equipos para medición sonora debe hacerse teniendo en cuenta una serie de factores relacionados con las características propias del agente, de la exposición, del medio de transmisión, el ambiente en el que se realizarán las mediciones así como de las funciones y limitaciones de los equipos disponibles.

De esta manera, los sonidos pueden contener una muy amplia gama de frecuencias (sonidos de banda ancha) como en el caso de los motores de combustión interna, o estar constituidos por un número reducido de éstas (sonidos de banda angosta) como en el caso de los sopladores, o de tonos marcadamente altos como en motores eléctricos. Por lo que hace al nivel sonoro en función del tiempo de exposición, puede ser constante o intermitente, con fluctuaciones periódicas y regulares o aleatorias.

Adicionalmente pueden encontrarse severos problemas al medir sonidos impulsivos como los producidos al pilotear, o por impacto de algunas operaciones de la industria metal mecánica.

Desde luego, la selección del equipo también dependerá de la cantidad y tipo de análisis que se requiera efectuar, esto implica que en una investigación para control de ruido normalmente requiere mucho menos información detallada que un programa de investigación básica. Estos factores también influyen decisivamente en la selección de los procedimientos de medición.

Por otro lado, es conveniente recalcar que la selección del equipo para usarse en el campo, debe tenerse en cuenta el que sea verdaderamente portátil. Esto implica que debe ser fácil de montar y calibrar en el sitio mismo donde se ha de usar, así como ser independiente de un suministro de potencia a través de una fuente externa, además de ser de peso razonablemente ligero.

Una vez que se tenga el equipo seleccionado entre los tipos generales es muy recomendable asegurarse de que el personal que haya de usarlo sea capacitado perfectamente y se sigan las instrucciones del fabricante para su manejo y mantenimiento apropiados. Conviene que el manual de operación que se suministra con el equipo, se distribuya entre todo el personal involucrado en el desarrollo o supervisión de estos estudios de evaluación

Es un hecho que la presencia de cualquier objeto en el campo sonoro tiene algún efecto sobre la presión sonora realmente medida en el micrófono, pues las reflexiones en el primero alteran el campo local. Por lo tanto, el tipo y la magnitud de la perturbación dependen en mucho del tamaño, forma, proximidad y propiedades del objeto sobre la reflexión del sonido, así como del ángulo de la onda sonora incidente. Si el campo sonoro es difuso y se va a medir en una banda ancha, digamos en la escala A, usualmente estos errores no son serios y la presión global de la medición está determinada generalmente por la propia precisión del instrumento, pero si se hacen las mediciones cerca de una fuente o en bandas estrechas, por ejemplo al hacer análisis de frecuencias por bandas de octava, es posible incidir en considerables errores.

Por lo tanto las reflexiones en el cuerpo del instrumento como en el observador que toma las lecturas, afectan la precisión de las lecturas, afectan la precisión de la medición. Debajo de los 1000 Hz. el efecto del aparato puede ser despreciable, pero en cuanto al observador, especialmente si se sitúa directamente detrás del sonómetro, puede ocasionar errores significativos en el rango de 300 a 1000 Hz.

Esta posición del sonómetro entre el observador y el campo a ser medido puede considerarse como la peor. Se mejorará la precisión si el observador se para lejos y a un lado del sonómetro o empleando un cable de extensión, de modo que el micrófono se pueda montar sobre un tripié, lejos del equipo y del que lo opera.

7.3. LIMITES ACEPTABLES DE RUIDO INDUSTRIAL

Los valores de una curva de nivel sonoro en función de las frecuencias que dan los valores que convendrían no sobrepasar para una exposición a un ruido complejo durante 8 horas se considera que no lesione un oído normal.

La comparación de los resultados de los trabajos efectuados en este terreno, muestran que las curvas propuestas por los diferentes autores están todas comprendidas entre los límites expuestos en la figura (7.3.1), límites que definen tres zonas:

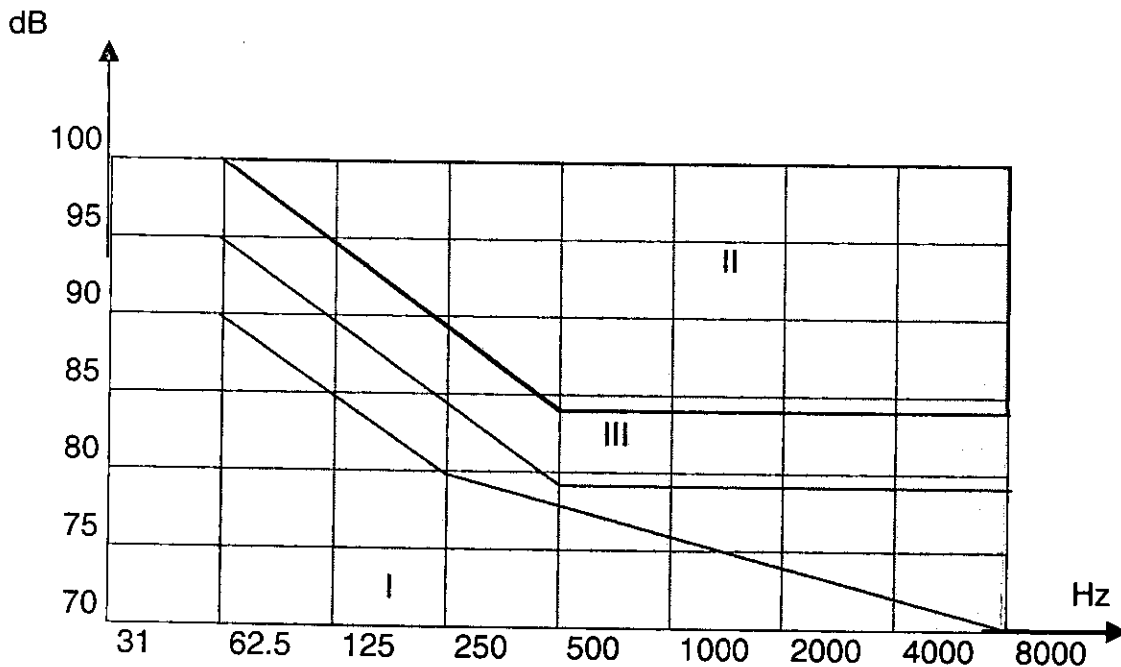


Fig. 7.3.1 Límites aceptables de ruido industrial.

Zona I situado debajo de la curva más baja: los niveles comprendidos en esta zona pueden ser considerados como no peligrosos, solamente molestos.

Zona II situado arriba de la curva más elevada: los niveles comprendidos en esta zona son considerados como peligrosos.

Zona III situada entre las dos curvas: en esta zona está restringido la permanencia por tiempo prolongado.

7.3.1. LAS AUDIOMETRÍAS.

Dentro de la cultura del trabajador en el ámbito laboral, es conveniente que conozca siempre todo aquello que debe realizar pero igualmente debe conocer aquello que el empresario debe hacer y cómo debe hacerlo. Este es el caso ahora de la audiometría, que no debe ser una rutina más, como son muchos reconocimientos médicos que igual o mejor nos lo harían en un Centro de Salud, ya que tienen poca o ninguna relación con lo específico de nuestro puesto de trabajo y los riesgos a corto o largo plazo puede lesionar nuestro estado físico, (posibles inhalaciones, estrés nervioso o térmico, etc.).

Pues bien, hacer una audiometría consiste en determinar para una persona concreta los valores mínimos citados y comparar los correspondientes a un individuo normal (la diferencia entre ambos valores es la pérdida a cada frecuencia) si esa persona requiere a una o más frecuencias, un mínimo de

decibeles mayor que un individuo normal, es que ha comenzado su andadura hacia la sordera. Evidentemente es necesario que hayan transcurrido 8 horas, al menos desde que cesó la exposición al ruido, para que desaparezca la sordera temporal cuya presencia enmascararía el resultado.

Cuando la sordera es provocada por el ruido, las primeras disminuciones de la sensibilidad auditiva se produce a frecuencias muy elevadas, alrededor de 4.000 Herzios y tardan bastante en extenderse a las frecuencias que empleamos normalmente en la conversación (de 500 a 2,000 Herzios).

8. MEDIDA Y EVALUACIÓN DEL RUIDO

Como el nivel de ruido lo definimos como el nivel de decibelios que contiene y la versatilidad de frecuencias, con ambas informaciones podemos evaluar la peligrosidad del mismo, pues teniendo un mismo nivel de dB, a más agudeza del ruido más daño para el oído.

La medida simultánea de dB y frecuencia requiere equipos de medida sofisticados y personal especializado para su manejo; por ello los aparatos de medida del ruido más usuales los llamados sonómetros recurren a una necesidad que permite salvar las dificultades citadas: miden el ruido en dB (A) que es una unidad especial que tiene en cuenta simultáneamente el nivel y el contenido en frecuencias. De esta forma se obtiene la información con una sola medida, y los resultados son directamente comparables en cuanto a peligrosidad, pues un ruido es tanto más dañino cuanto mayor sea su nivel de dB con ponderación (A), sin que se requiera información adicional. Esto no ocurre cuando se mide en dB pues dos ruidos con el mismo número de decibelios pueden no ser igualmente dañinos según cuál sea su contenido en frecuencias.

8.1. EQUIPOS DE MEDICIÓN

El instrumento básico para evaluar niveles de presión llamado sonómetro, consta invariablemente y a grandes rasgos, de dos partes generales:

1. Un micrófono que capta la vibración mecánica que transmite el medio elástico (presiones de la onda sonora) y la convierte en señal eléctrica de corriente alterna de bajo voltaje, esto es, se trata de un transductor.
2. Un circuito de medición que asemeja a un multímetro, mediante circuitos electrónicos y escalas adecuadamente calibradas, proporciona la lectura del nivel de presión sonora.

En realidad, la medición más simple del sonido es la del nivel de presión sonora lineal o presión acústica, que es independiente de la frecuencia y que pasa por alto la variación con el tiempo, ignorando así los dos factores que se sabe afecta la reacción subjetiva al sonido, tanto como el nivel mismo de éste. Es por ello que solo se usa cuando se están registrando datos para su posterior análisis en el laboratorio y su notación suele ser dB (lin). Sin embargo, ponderando la señal en una manera que corresponda a la respuesta del oído, es posible describir, por medio de un solo valor, un nivel de presión más representativo de sus efectos subjetivos. Este valor hace una ponderación de las frecuencias componentes del sonido que se mide y para distinguirlo se expresa como dB (A), dB (B), dB (C), etcétera. (*Unidades de medición*)

EQUIPOS DE MEDICIÓN DE RUIDO.				
	TIPO 0	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Patrón de referencia. • Laboratorio de ensayos 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudios de campo y laboratorio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones generales 	<ul style="list-style-type: none"> • Mediciones prospectivas
Ponderación de frecuencias Características de tiempo. Frecuencias de calibración Nivel de calibración	Una o más (A, B, C). Opcional. D, Lin. Una o más (F, S, Impulse). Opcional: Peak Entre 200 y 1000 Hz. Preferiblemente 1000 Hz. Preferiblemente 94 dB. Si el rango del sonómetro no lo permite se elegirá 84 o 74 dB.			
Precisión bajo condiciones de referencia	± 0.41 dB	± 0.7 dB	± 1.0 dB	± 1.5 dB
Direccionalidad Varias especificaciones según gama de frecuencias. Ejemplo: Variación de un ángulo de $\pm 30^\circ$ para 1000-2000 Hz	0.5 dB	1.0 dB	2.0 dB	4.0 dB

Tabla 8.1. Equipos de medición de ruido

El ancho de una banda de frecuencia es de una octava cuando su límite superior es el doble del inferior y un tercio de octava cuando su límite superior es la raíz cúbica de dos veces el límite inferior, sin embargo, los filtros se designan no por los límites superior e inferior sino por las frecuencias centrales del ancho de banda de que se trate.

Esta medición en las diferentes bandas de frecuencia se efectúa mediante filtros electrónicos que son accesorios que se acoplan a los sonómetros, y que constan a grandes rasgos de un reóstato sintonizable para las diversas frecuencias centrales, usualmente de 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, y 8000 Hz, etcétera.

Efectivamente, cada sistema esencialmente consta de un transductor, una sección de análisis y una unidad de salida.

8.1.1. MEDIDORES DE IMPACTO.

Los medidores de impacto pueden ir incorporados en los sonómetros bastando para su utilización captar la respuesta adecuada, los equipos de medición de ruido se clasifican en tipos según su fiabilidad establecida por el cumplimiento de la normativa internacional, la CEI 651 y la CEI 804.

La norma CEI 651 proporciona una serie de especificaciones que deben cumplir los equipos en cuanto a características frecuenciales, calibración, direccionalidad, previsión, linealidad, gama impulsiva, etc.

La norma CEI 804 proporciona especificaciones de los equipos que integran y ponderan el ruido, bien lo expresen con nivel continuo equivalente, bien lo hagan como porcentaje de dosis máxima permitida.

Las normas CEI clasifican los equipos en tipos 0 patrón de referencia, tipo 1 o de precisión, tipo 2 o de aplicación general y de tipo 3 ver tabla 8.1

TRANSDUCTOR

El transductor usualmente es un micrófono, aunque algunas veces se usan acelerómetros o medidores de deformación para ayudar a identificar vibraciones relacionadas con los mecanismos de emisión sonora por fuentes complejas.

SECCIÓN DE ANÁLISIS

Con su amplia variedad de circuitos para determinar, ponderar e integrar la señal, esta sección es la más compleja del sistema. En el caso más simple solo pondera el espectro de frecuencias de la señal de entrada de acuerdo a una de las redes estándar, o lo filtra en bandas de un tercio de octava o bandas estrechas. El nivel ponderado en escala A se puede integrar para dar el nivel sonoro continuo equivalente (simbolizado por L_{eq} en inglés), o puede computarse continuamente un análisis estadístico completo.

SECCIÓN DE SALIDA

A menudo sección de salida consiste de un medidor calibrado con un tiempo de respuesta estandarizado y un graficador opcional para obtener un registro permanente de los niveles medidos. Se puede emplear la mini computadora o calculadora programable de escritorio para almacenar y comparar datos provenientes de estaciones fijas de monitoreo o para realizar cálculos complejos como los requeridos para la clasificación del ruido de aeronaves.

8.2. MEDIDORES DE NIVEL DE PRESIÓN SONORA

El sonómetro nos sirve para medir el nivel de ruido, es un instrumento pequeño electrónico básico de medición sonora y consta de un micrófono, un amplificador de control de volumen calibrado y un indicador de aguja o digital. Mide la raíz cuadrada de la media cuadrática (valor eficaz) del nivel de presión sonora en decibeles, que es proporcional a la intensidad o flujo de energía sonora.

8.2.1. EL SONÓMETRO-INTEGRADOR.

Este aparato es similar al anterior, pero posee una misión más, que es la de integrar el ruido que llega al aparato, y promediar los resultados puntuales obteniendo un valor llamado nivel continuo equivalente, que es el valor promedio del nivel sonoro que existe durante todo el período de medición.

Las normas IEC - 651 y ANSI S1.4 fijan los requisitos que deben reunir los sonómetros y los clasifican en cuatro tipos, conforme a sus características y aplicaciones:

Tipo 0 patrón de referencia de laboratorio.

Tipo 1 Sonómetros de precisión.

Tipo 2 Sonómetros para usos generales.

Tipo 3 Sonómetros de reconocimiento.

El tipo 2 generalmente mide dentro de los 2 ó 3 decibeles de los niveles reales, lo que es satisfactorio para la mayoría de nuestros propósitos. Con el sonómetro número 1 o de precisión, el error se contrae aproximadamente a la mitad, mientras con el tipo 3, aproximadamente se duplica.

8.2.2. REDES DE PONDERACIÓN DE FRECUENCIA

La mayoría de los instrumentos de medición acústica utilizan redes de ponderación. En los sonómetros las redes de ponderación más utilizadas son las designadas A, B, C. Estas derivan sus características de ciertas propiedades de la audición humana. Otros equipos pueden tener filtros de ancho de banda (octavas de banda) y se utilizan para analizar el contenido espectral del sonido. Funcionalmente los filtros de ancho de banda pueden ser vistos como controles de tono

Las redes de ponderación, hacen que la sensibilidad del instrumento varíe con relación a frecuencias e intensidades específicas, en forma similar a como lo hace el oído humano. Estas redes de ponderación entran en operación mediante perillas o botones en los que se indica esta función con las letras A, B, C y D. (fig. 8.2). La función lin. Se refiere a la

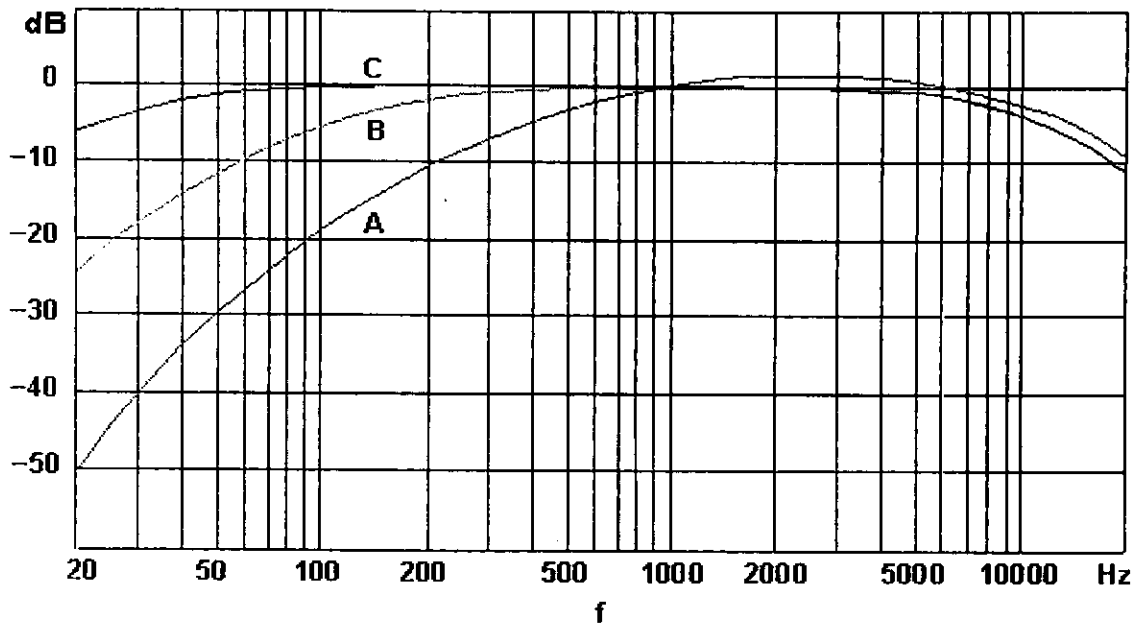


Fig. 8.2 Curva de redes de ponderación

respuesta lineal del aparato, es decir, sin la utilización de redes de ponderación de frecuencias.

En los estudios de evaluación y control del ruido industrial, por acuerdo internacional, la escala de ponderación utilizada es la A, que de acuerdo con la experiencia ha demostrado ser la que más se asemeja a la respuesta del oído humano normal.

TIEMPO DE INTEGRACIÓN

El tiempo de integración o velocidad de respuesta del indicador es una función de los sonómetros que permite valorar ambientes con diversas características en cuanto a las fluctuaciones del nivel de presión sonora en el tiempo. Los sonidos relativamente estables, es decir, con fluctuaciones no mayores de 4 dB (A), se mide con respuesta rápida (fast), debido a que la inercia de los circuitos electrónicos y del indicador, sobre todo cuando éste es electromecánico, permite una mayor confiabilidad cuando se emplea esta función en las condiciones indicadas, mientras que cuando la inestabilidad de los sonidos presentes en un ambiente determinado es muy grande, para evitar errores de aforo, se recomienda utilizar la respuesta lenta (slow), que disminuye la oscilación de la aguja en los equipos con indicador electromecánico o en los de indicador digital.

Los sonidos tales como los producidos por martillo o al pilotear, que duran una fracción de segundo, deben calcularse con un medidor especial que indique el nivel pico, hay accesorios para medir impulsos que se conectan a los sonómetros, pero también hay sonómetros equipados con un circuito para medir sonidos impulsivos.

8.3. ANALIZADORES DE FRECUENCIAS

Son equipos análogos al sonómetro dotados de unos filtros que permiten separar las distintas frecuencias que lo componen en bandas; las más típicas son las bandas de octava y de 1/3 de octava.

Tanto para la identificación de las fuentes generadoras de ruido como para la selección de medidas de control, es sumamente importante conocer la distribución de la energía sonora según la frecuencia. Tal información se provee mediante un analizador del espectro sonoro que puede ser de funcionamiento autónomo o bien conectarse al sonómetro. El circuito de éste filtra la señal eléctrica del micrófono, de modo que sólo aquéllas dentro de un limitado rango de frecuencias son transmitidas al indicador del instrumento.

Las frecuencias centrales, así como los límites inferior y superior (ver tabla 8.3.1) de los filtros de banda de octava que más comúnmente se usan, son las que aparecen en la siguiente tabla

LIMITE INFERIOR	FRECUENCIA CENTRAL	LIMITE SUPERIOR
22	31.5	44
44	63	88
88	125	177
177	250	355
355	500	710
710	1000	1420
1420	2000	2840
2840	4000	5680
5680	8000	11360

Tabla 8.3.1 Frecuencias centrales, límite superior e inferior de un analizador de espectro sonoro.

8.4. MICROFONOS

Las características físicas del sonido se pueden describir por diferentes parámetros, pero la cantidad más prácticamente medible en el campo es la presión sonora. Por ello se han desarrollado los micrófonos con un alto grado de refinamiento.

El micrófono seleccionado para una cierta medición tiene que:

1. Operar satisfactoriamente en un amplio rango de condiciones medioambientales, tales como humedad, temperatura, polución atmosférica y viento.
2. Llenar exigencias técnicas respecto a las respuestas a la frecuencia, rango dinámico, direccionabilidad necesarias para que las mediciones sean precisas y reproducibles.

El que mejor llena todas estas condiciones es el micrófono de condensador, y por lo tanto es más ampliamente usado. Opera bajo el principio de que la capacitancia de dos placas eléctricamente cargadas se altera con la separación entre ellas. Pues bien, una de estas placas es un diafragma sumamente ligero que se mueve en respuesta a las variaciones de la presión acústica

SELECCIÓN Y USO DEL MICRÓFONO APROPIADO

Cuando se seleccione y use cualquier micrófono, debe tenerse en mente el tipo de campo sonoro que se va a medir. La respuesta del micrófono se ve influenciada a altas frecuencias por la reflexión y difracción originadas por su propia presencia en el campo sonoro.

Existen en la práctica dos tipos principales de condiciones acústicas: las de campo difuso y las de campo libre. En el primer caso el sonido incide sobre el diafragma del micrófono igualmente desde cualquier dirección. En cambio en el segundo, que es el que usualmente se presenta en la mayoría de las mediciones en exteriores y en muchas en interiores, el sonido llega solo desde una dirección.

CLASIFICACIÓN DE LOS MICRÓFONOS SEGÚN SU RESPUESTA

Usualmente las características del micrófono se expresan de tres maneras:

1. **Respuesta de campo libre.** Se refiere a la forma en que el micrófono está diseñado para compensar la perturbación causada por su propia presencia en el campo sonoro, siempre que la propagación de las ondas sonoras sea perpendicular al diafragma.
2. **Respuesta a la presión.** Esta característica expresa la respuesta del micrófono a la frecuencia uniforme al campo sonoro, tal como existe incluyendo su propia perturbación, y debería usarse al medir en acopladores, en la calibración del audiómetro.
3. **Respuesta a la incidencia al azar.** En este caso se mide la capacidad del micrófono para responder uniformemente a las ondas sonoras que llagan simultáneamente desde cualquier dirección y por lo tanto, cuando se investiguen campos difusos, se deberán seleccionar micrófonos cuya eficacia en cuanto a esta característica esté garantizada.

OTRAS CONSIDERACIONES RESPECTO A LOS MICRÓFONOS

Cuando se monta un micrófono en un sonómetro, el mismo cuerpo del instrumento obstruye el sonido proveniente de ciertas direcciones, haciendo que la respuesta del primero sea más direccional que la de un micrófono que se monte alejado del instrumento.

No obstante lo anterior, a bajas velocidades del viento (menos de 40 km/hr), mediante el uso de una pantalla contra viento apropiada se logra una importante reducción en el ruido inducido por este agente. Pero al aumentar la velocidad, disminuye continuamente el efecto de la pantalla, por lo que no pueden lograrse mediciones precisas y ni siquiera debieran intentarse.

Por otro lado existe la circunstancia de que el nivel espectral del ruido debido al viento aumenta al disminuir la frecuencia, así que las mediciones en la red de ponderación A, parecen ser menos afectadas que otras, ya que este "falso ruido" tiende a quedar fuera de ponderación.

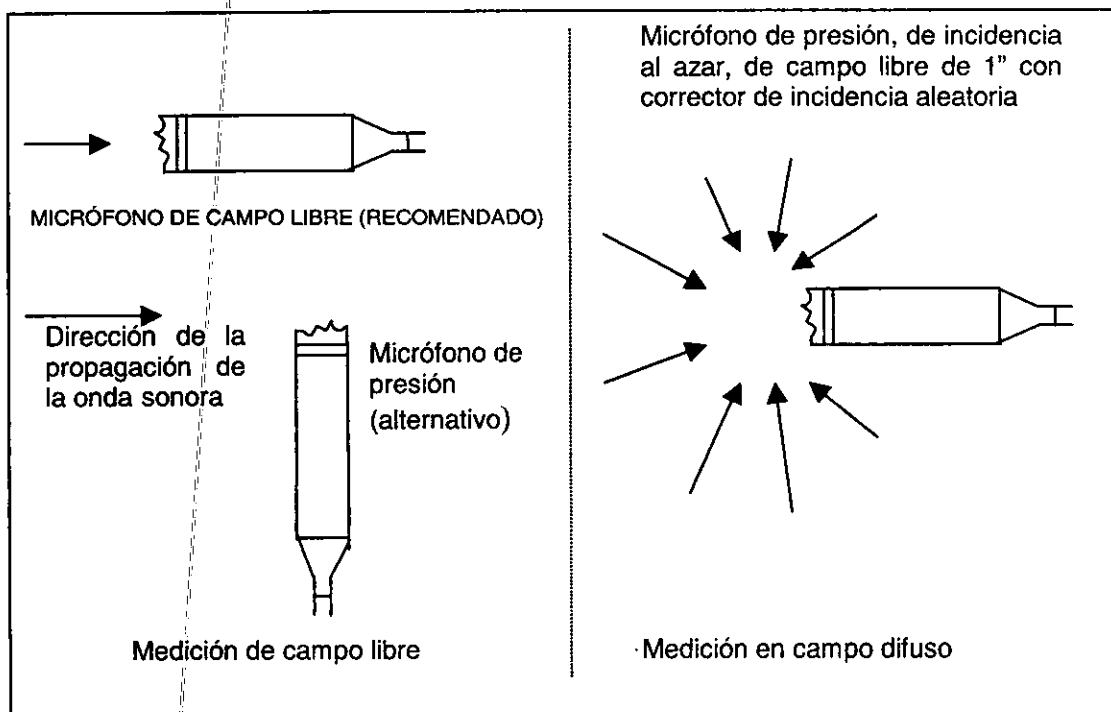


Fig. 8.4.1 Orientación de los micrófonos en el campo sonoro

8.5. DOSÍMETROS

La exposición del personal a un agente agresivo cualquiera, presente en el ambiente laboral, relacionada con el tiempo y comparada con los criterios de permisibilidad a tal exposición, constituye el concepto general de dosis.

En el caso de ruido industrial es necesario investigar la dosis que reciben los trabajadores durante su jornada laboral, con el propósito de procurar la conservación de la audición.

Esta necesidad surge del hecho de que la capacidad de un ruido dado para lesionar la función auditiva no solo depende de su nivel sino también de su duración. Pero en toda la industria no se da un solo caso en que el trabajador se exponga las ocho horas de su turno a un solo nivel de ruido, sino que lo normal es que a lo largo de la jornada estos niveles de ruido, así como el tiempo de exposición a cada uno de ellos, varía en forma más o menos aleatoria. Así, hay que determinar un valor basado en todos estos niveles individuales, que represente el nivel continuo equivalente en dB (A) que tendrá el mismo potencial de lesión auditiva que el nivel variable considerado.

DOSÍMETRO DE RUIDO

El dosímetro de ruido es un instrumento de medición que proporciona directamente el valor de la relación entre la exposición real y la permisible. Este es un sonómetro especial de uso personal, diseñado para que el usuario lo porte consigo durante toda la jornada sin molestia alguna, mientras automáticamente se están efectuando las mediciones e integraciones que finalmente nos permitan estimar la dosis como una fracción de la máxima permisible.

NIVEL SONORO CONTINUO EQUIVALENTE (Leq)

El nivel sonoro continuo equivalente (Leq) es la energía media ponderada en la red A, del nivel de ruido promedio a lo largo de todo el periodo de medición. Se puede considerar como el nivel de ruido estable continuo que tendría la misma energía acústica total ponderada en la red A, que el ruido fluctuante real medido en el mismo periodo. Está definido como:

$$Leq = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{Pa(t)}{Po} \right)^2 dt \quad \text{Ec. 8. 1}$$

donde:

T = es el tiempo total de medición.

$Pa(t)$ = es la presión acústica instantánea ponderada en la red (A).

Po = es la presión acústica de referencia ($20 \mu Pa$).

Debido a la dificultad practica para el registro continuo de valores durante periodos prolongados que permitan calcular este nivel sonoro continuo equivalente mediante métodos manuales, se ha desarrollado un nuevo tipo de sonómetro integrador especializado, por medio del cual se puede determinar directamente la dosis de ruido: el dosímetro.

DOSIS DE RUIDO

La dosis de ruido es una medida de la energía sonora ponderada en la red A recibida por un trabajador, expresada como una proporción de la dosis diaria de ruido permitida, adoptada internacionalmente como de 90 dB (A) de nivel sonoro continuo equivalente (Leq) para una jornada de ocho horas, con reducción a la mitad del tiempo permisible cada vez que se incrementa en 3 dB (A).

ESTRATÉGIAS DE MUESTREO

Las actividades de higiene industrial se desarrollan en las etapas de reconocimiento, evaluación y control, correspondiente a cada una de ellas, procedimientos particulares.

En el caso de la exposición laboral al ruido, la etapa de reconocimiento se refiere a la identificación sensorial de áreas de trabajo en las que se presentan sonidos cuyas características resulten subjetivamente agresivas, y/o en las cuales se hayan identificado trastornos en la salud de los trabajadores atribuibles a este fenómeno.

Lógicamente, la simple valoración subjetiva de las características del ruido y la forma de exposición a éste no son suficientes para sustentar técnicamente la posibilidad o no de que dicha exposición sea capaz de generar daño, por lo cual, es necesario efectuar una medición instrumental y una comparación entre los valores encontrados y los patrones de aceptabilidad establecidos.

ESTRATEGIAS DE MUESTREO EN LOCALES CERRADOS O SEMICERRADOS

En las áreas de trabajo con niveles sonoros uniformes como en las casas de bombas y de compresoras, así como en algunos talleres, el primer paso sería determinar el nivel promedio mediante la realización de un cierto número de mediciones en dB (A), con un simple sonómetro portátil. Los puntos de medición deben distribuirse aleatoriamente alrededor del local en forma conveniente según sus dimensiones. Si se obtienen indicaciones de que se trata de un ambiente sonoro evidentemente inaceptable (NPS igual o mayor de 90 dB (A)), se procederá a investigar el espectro de ruido en términos de bandas de octava (de 125 a 8000 Hz), en el sitio mismo donde se encuentre la fuente emisora.

ESTRATEGIA DE MUESTREO EN EXTERIORES

En forma similar a la forma anterior se procederá a levantar las curvas de isonivel, para lo cual será conveniente usar el plano de localización de las instalaciones o su equivalente, y organizar una red de mediciones bajo el criterio general de un mínimo de un punto de medición por cada 4 m² U 8 m². En los puntos en los que se detecten niveles sonoros de 90 dB (A) o más se hará el análisis de frecuencias por bandas de octava. Pero para efectos de la protección auditiva de los trabajadores, las mediciones deberán realizarse en la posición normal de su oído para medir lo que efectivamente constituye la exposición de estos al ruido.

ESTRATEGIAS DE MUESTREO Y PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN PARA EVALUAR DOSIS DE RUIDO

En la generalidad de los casos se tratará de determinar la dosis que reciben los trabajadores en la categoría o categorías que se encuentren laborando; excepcionalmente se determinará en casos personales particulares especiales.

En cualquier caso, se trata de llegar a un conocimiento lo más exacto posible de la exposición real de los trabajadores durante el desempeño de sus labores. Así pues se procederá, después de tener debidamente calibrado el sonómetro, a efectuar mediciones de nivel sonoro A en los sitios mismos donde el personal se exponga, colocando el micrófono del instrumento en una posición tal que sea lo más aproximada posible a la que mantiene el propio oído del individuo expuesto, lo que entre paréntesis, se logra mucho mejor mediante el empleo de un dosímetro personal. En los casos en que el nivel sonoro sea de 90 dB (A) o más, se efectuará el análisis de frecuencia por banda de octava, mismo que se ponderará según las curvas de valoración del ruido para tratar el riesgo de lesión que el ruido implique.

Este sencillo método consiste en ubicar en el diagrama de curvas, los niveles correspondientes a cada banda. Se ve entonces qué curva de valoración que da inmediatamente por encima del espectrograma, y se asigna al ruido total el valor correspondiente a esta curva.

Con este valor y el auxilio de la tabla 8.5.1 encontramos el nivel sonoro A equivalente, que será el que finalmente se considere para el efecto del potencial de daño auditivo. De esta manera se toma en consideración la respuesta del oído humano a la frecuencia, puesto que es diferente el efecto de la exposición al ruido de frecuencias diferentes con un mismo nivel de presión durante el mismo tiempo.

AJUSTE DE PONDERACIÓN	
Hz	CORRECCIÓN
125	-16.1
250	-8.6
500	-3.2
1000	0
2000	+1.2
4000	+1.0
8000	-1.1

Tabla 8.5.1 Ajustes de ponderación de frecuencias (A)

Para ello se tienen dos alternativas: 1. Cronometrar cada una de las exposiciones a los diferentes niveles sonoros durante todo el turno; 2). Estimar el tiempo de exposición a cada nivel, cuando se trate de una rutina fija y niveles sonoros razonablemente estables.

La forma de correlacionar estos dos parámetros – nivel sonoro y tiempo de exposición para obtener el valor de la L_{eq} – se encuentra descrita e ilustrada en el

anexo 2 de la NOM-011-STPS-1993 "relativo a las Condiciones de Seguridad e Higiene en los Centros de trabajo donde se genere ruido".

8.6. CURVAS ISONIVEL (MAPAS DE RUIDO)

Estas permiten una mejor visualización de los modos en que se distribuye el ruido, haciendo resaltar las zonas de niveles peligrosos en las que haya que tomar medidas para el control de este agente.

Consiste en un croquis de una precisión aceptable, donde se incluyen las posiciones relativas de las fuentes y demás elementos de interés. Sobre este croquis se anotan los niveles de ruido medidos en dB (A) en un número suficiente de posiciones, teniendo en mente que a mayor número de puntos de medida, se tendrá mayor exactitud. Finalmente se unen los puntos de igual nivel con una línea continua, obteniéndose así las curvas de isonivel. (ver fig.8.6.1

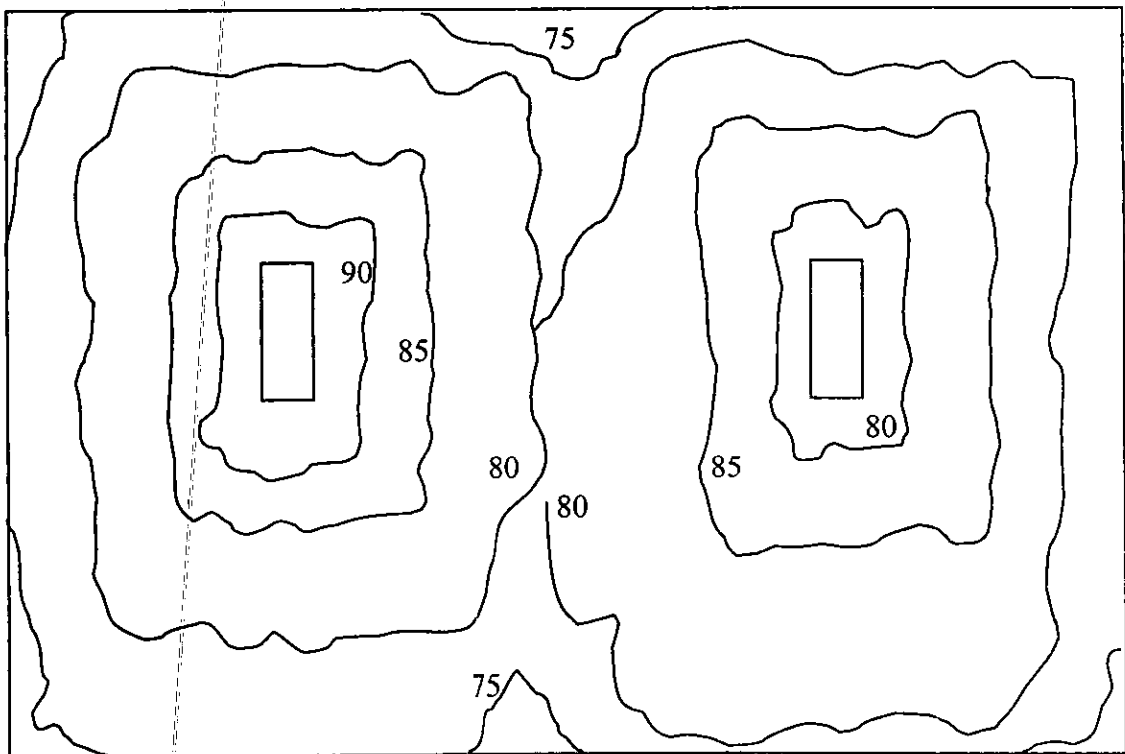


Fig. 8.6.1 Mapas de ruido con curvas isosónicas.

8.7. SILENCIADORES

Se definen silenciadores los dispositivos que, introducidos a lo largo de un flujo sonoro, reducen sensiblemente el ruido.

Los silenciadores industriales están formados básicamente por una envoltura metálica con elementos fonoabsorbentes y cavidades fonoamortiguadoras, a través de las cuales se transportan los flujos de aire.

Pueden ser aplicados con provecho en todos los lugares en que haya corrientes de fluidos a gran velocidad: aspiración o escape de aire, de gas, etc. Permiten reducciones de niveles sonoros muy importantes de 10 a 40 dB según los tipos y la eficacia.

SE DISTINGUEN TRES TIPOS PRINCIPALES DE SILENCIADORES:

SILENCIADORES DE ABSORCIÓN.

Tubo metálico revestido interiormente de materiales porosos, como la fibra de vidrio. Estos silenciadores son eficaces para frecuencias agudas y menos eficaces para las graves.

SILENCIADORES DE RESONANCIA O REFLEXIÓN.

Basadas en la teoría de los resonadores tipo Helmholtz, están constituidos por un conjunto de cavidades y tubos en los cuales debe reflejarse la energía emitida, haciendo así que se disipe y vuelva hacia su origen. Dicho de otra forma, la energía es puesta en oposición a ella misma.

SILENCIADORES DE PROPAGACIÓN.

Están constituidos por tubos paralelos de volúmenes diferentes que se comunican entre si por orificios. De este modo las ondas sonoras se propagan con velocidades de fase variables.

Estos materiales, de uso muy extenso en los escapes de motores de explosión, son difíciles de calcular y generalmente los constructores lo hacen empíricamente. Pueden ofrecer eficiencia muy alta en todas las frecuencias audibles.

8.8. BLINDAJE ACUSTICO.

Las partes principales de una máquina están generalmente protegidas por chapas, carazas, etc. El ruido propagado por un ventilador se atenuará por intermedio de un revestimiento metálico.

El blindaje acústico es uno de los medios más eficaces para reducir muy sensiblemente estas emisiones sonoras e impedir las vibraciones de elementos tensos.

El blindaje acústico consiste en algunas de las siguientes medidas:

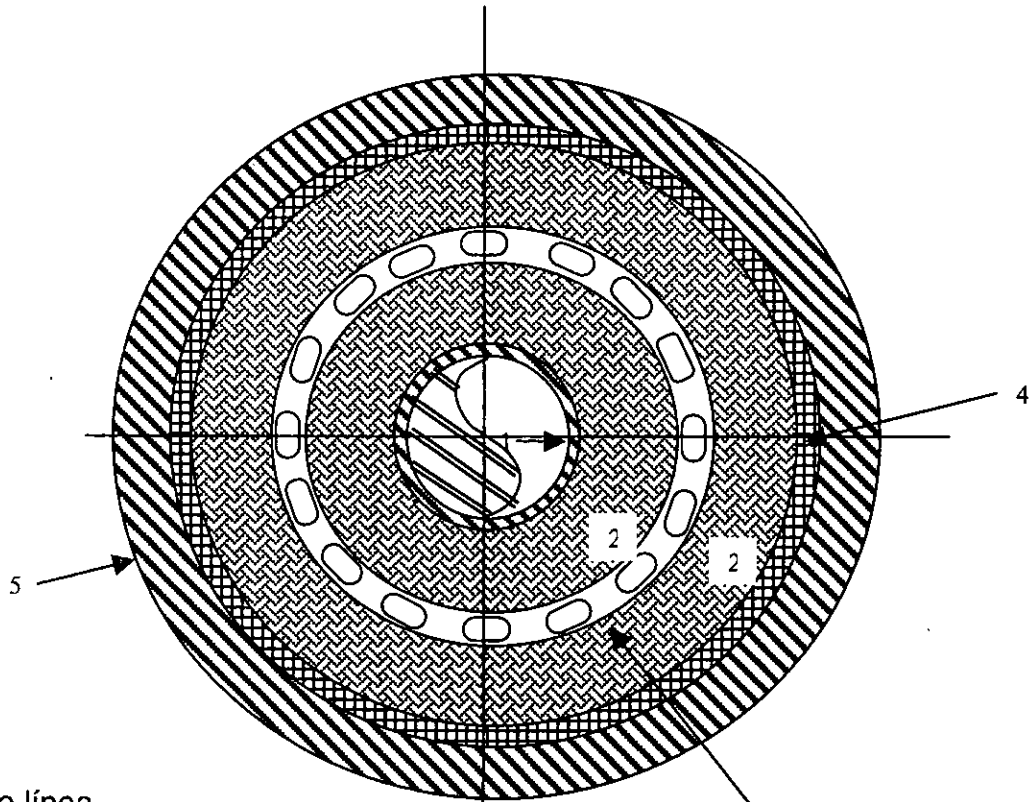
- a) Para las chapas de grandes dimensiones asegurar su estado de tensión por soldadura o fijación de cantoneras según las diagonales.
- b) Proyección de una capa espesa de pintura insonorizante tipo Blackson (ejemplo el capot del motor y los guardabarros en los coches).
- c) Proyección de fibras de amianto tipo Limpet, de 15 a 25 mm. De espesor, con una capa de cemento de amianto BD2 de 20 mm de espesor; esta solución particularmente eficaz y de empleo corriente en la industria (ventiladores, revestimientos, turbinas etc.);
- d) Paneles de fibra de vidrio (de densidades variables y múltiples según la eficacia sobre las frecuencias que se pretenda) sobre agujas de acero soldadas previamente en la instalación a tratar. Pueden interponerse membranas de fieltro asfaltado grueso entre los diferentes paneles a fin de mejorar la eficacia acústica del montaje sobre las frecuencias interiores a 500 Hz;

Finalmente el acabado puede ser afirmado por:

- Chapas gruesas (en caso de posibilidad de desmontar),
 - Un recubrimiento de cemento armado tipo BD2 (que es la solución más eficaz)
- e) Revestimiento de vaina de ventilación con ayuda de fieltro de 25 mm o mas, de fibra de vidrio pegada sobre un Kraft aluminio; juntas con bandas de aluminio; autoadhesivas.

A continuación se presenta un ejemplo típico de ingeniería de atenuación ver figura 8.8.1 en líneas y equipos industriales en donde el arreglo presenta cambios de fase, lo cual tiene repercusión en el comportamiento de la presión acústica por lo tanto en la disminución de los vectores, dando origen a la modificación de su resultante con lo cual debe de ser sujeto a las condiciones particulares para cada caso presente generador de ruido.

RECUBRIMIENTO A EQUIPOS Y LINEAS



1. Equipo o línea
2. fibra de vidrio 2" a 4" espesor
3. costillas de unicel de 2" a 4" de espesor
4. papel aluminio de 0.002"
5. lámina protectora exterior

PLANTA

NOTA: LA FIBRA DE VIDRÍO
SERÁ SOPORTADA
POR TELA DE CRIBA
O MALLA DE ALAMBRE

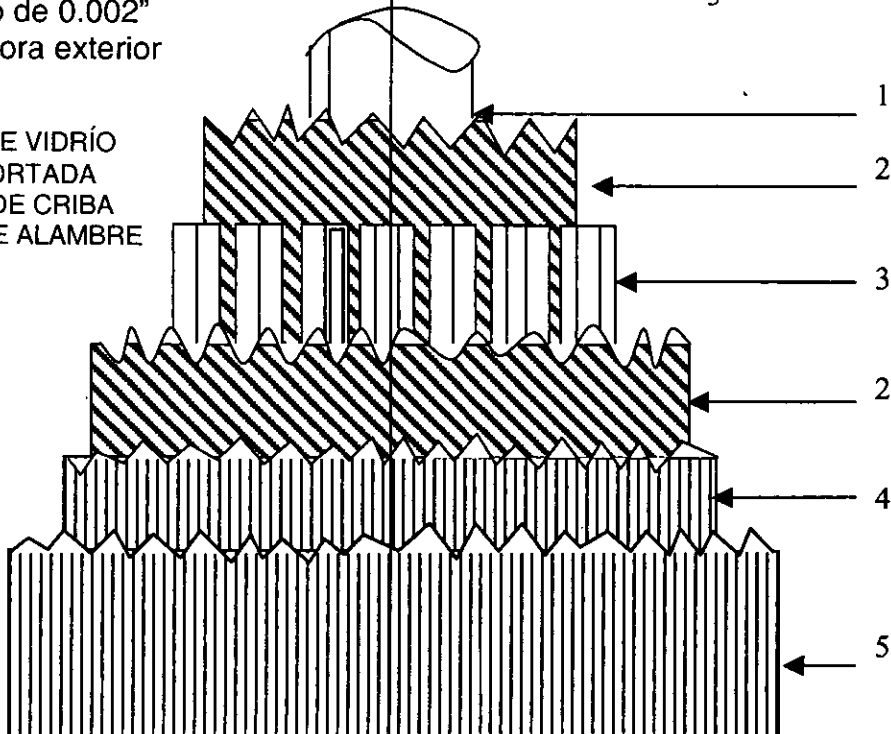


Fig. 8.8.1. Recubrimiento a equipos y líneas.

8.9. ENCAPOTADOS

Como es de suponer, los blindajes acústicos se aplican directamente sobre el elemento vibrante o radiante.

Los encapotados consisten en cerrar parcial o totalmente una fuente sonora a fin de entorpecer o de ahogar su radiación periférica.

ESTRUCTURA DE LOS ENCAPOTADOS

Deben adaptarse a las dimensiones y formas de la máquina o del órgano a tratar. No hay, pues, una solución universal, sino casos especiales.

Su constitución tipo consta, del exterior al interior, de:

- un esqueleto de madera o metálico.
- Una pantalla exterior densa que estanca el ruido (chapa gruesa de acero de 2 a 5 mm, madera reconstituida de densidad 600 kg/ m³ con espesor de 20 a 30 mm),
- Eventualmente (en el caso de las chapas) un blindaje ligero tipo Blackson o Flinkote y Filasse, de 2 a 4 mm de espesor (tratamiento antivibrátil),
- Un panel absorbente de alta eficacia (la densidad, el diámetro del fibrado y el espesor serán seleccionados en función de las frecuencias de que quieran combatir),
- Una protección mecánica:
 - Enrejado, alambrada soldada,
 - Metal desplegado,
 - Chapa o revestimientos diversos (maderas constituidas, cemento de amianto, poliéster estratificado, ect.) perforados a un índice seleccionados en función de las frecuencias a eliminar,
 - Tejido de vidrio de tipo textiglas.

La elección de esta protección se hará teniendo en cuenta numerosos factores:

- engrase (aceite, polvo, fibras, etc.),
- incombustibilidad o no,
- economía,
- manejabilidad.

TRATAMIENTOS AMBIENTALES.

Los tratamientos acústicos de ambiente pueden evitar en parte o casi totalmente la amplificación de los ruidos debida :

- volumen de los talleres,
- a la naturaleza más o menos reflectante de las paredes constituyentes.

Un tratamiento acústico bien estudiado y convenientemente adaptado a un taller y a sus máquinas permitirá:

- disminuir la reverberación y por tanto, la propagación de las ondas sonoras y, por consiguiente, impedir su amplificación;

- disminuir los riesgos de un traumatismo sonoro para el personal que permanezca en el taller.

TRATAMIENTO ACÚSTICO DEL TECHO.

Es la solución más adecuada por que tiene múltiples ventajas

- a) corrección acústica, que es lo que pretendemos; obtenemos una reducción de los niveles sonoros y, como consecuencia, una protección auditiva del personal;
- b) mejora del aislamiento térmico:
 - menos frío en invierno, calefacción más económica,
 - menos calor en verano, de lo que se deriva una mayor comodidad con presupuesto de combustible menos elevado:
- c) cuando el tratamiento acústico se realiza en forma de un falso techo se obtiene una reducción del volumen de aire, de lo que se deriva una economía suplementaria en el programa de calefacción;
- d) en ciertas industrias la realización de estos falsos techos puede constituir una pantalla para el polvo;
- e) estos tratamientos conducen igualmente al industrial a estudiar las condiciones de iluminación, que se incorpora generalmente al falso techo.
- f) Finalmente, el color y la estética formarán generalmente parte de los factores que determinan la elección de un falso techo.

OBSERVACIONES SOBRE TRATAMIENTOS ACÚSTICOS.

A continuación se dan algunas recomendaciones para el buen funcionamiento de los tratamientos acústicos.

1. Para ciertas realizaciones los materiales pueden estar pegados cuando el soporte se presta a ello. Rara vez es adoptada esta solución en los talleres a causa de la inseguridad de que se mantengan con el tiempo los pegamentos (variaciones de la higrometría ambiente, cohesión delicada entre el material, la cola y el soporte).

Otra razón técnica es que un material absorbente pegado presenta una absorción acústica insuficiente para las frecuencias inferiores a 500 Hz, mientras que para un material suspendido la presencia de una lámina de aire de algunos centímetros es, por el contrario, favorable a estas frecuencias.

2. Para que un tratamiento acústico sea plenamente eficaz es preciso que en la medida de lo posible esté situado a menos de cuatro metros de las fuentes sonoras (recordemos que el campo de las ondas directas es de 4 metros).

3. La fórmula de la ecuación 5.6.35 trata de los tiempos de reverberación de los volúmenes de las unidades absorbentes:

Insistiremos que el carácter empírico de esta fórmula y de su campo muy limitado de aplicación. Sin embargo, hace aparecer tres nociones interesantes que podemos tener en cuenta para razonar sobre un problema de acústica industrial:

- a. La noción de volumen: cuando es más grande, más elevado es el tiempo de reverberación y más grande será la amplificación de las ondas sonoras.
- b. La noción de unidades Sabine $S \times a$: el tratamiento acústico de un taller consistirá en añadir un gran número de unidades absorbentes; en otros términos, en recubrir las superficies de coeficiente "a" débil (ejemplo revestimiento cemento $a = 0.02$) por materiales de coeficiente "a" elevado (ejemplo panel de fibra de vidrio $a = 0.8$).
- c. La noción de tiempo de reverberación: su reducción lleva consigo un descenso de los niveles sonoros emitidos.

El tiempo de reverberación de un volumen determinado que varíe en función de la frecuencia hará válidas para una banda de frecuencia precisa todas las consideraciones citadas anteriormente.

4. no es suficiente en incluir en forma indiscriminada unidades absorbentes (un tratamiento acústico) de un volumen. Será preciso también determinar sus emplazamientos.

ESTE LIBRO FUE IMPRESO EN:

TESIS

PISCIS



**Internet
Club**



Nueva Era

PASEO DE LAS FACULTADES # 41 -
A COL. COPILCO UNIVERSIDAD
C.P. 04860

TEL. 56-58-73-99

CALLE MEDICINA # 41 DEP.
I COL. COPILCO UNIVERSIDAD
C.P. 04360

TEL. 59-25-784-35

INTERNET

- HOJAS
- ESCANEOS
- ENGARGOLADOS
- IMPRESIONES LASER Y COLOR EN INYECCION DE TINTA
- LLENADO DE FACTURAS Y TODO TIPO DE FORMATOS
- RENTA VENTA Y REPARACION DE COMPUTADORAS
- FOTOS DIGITALES LASER AL INSTANTE
- REPRODUCCION DE TEXTO POR CUARTILLA
- TELÉFONO Y FAX PUBLICO
- TARJETAS AL INSTANTE
- CAPTURA DE TESIS
- ENMICABOS

TESIS, ENTREGA A DOMICILIO Y
PRESUPUESTOS GRATIS POR TELEFONO

9. PROTECCIÓN CONTRA EL RUIDO

9.1. NORMAS TÉCNICAS

En muchos campos de la acústica práctica y de la técnica de protección de ruidos se han desarrollado, a base de experiencias y de cuantiosos trabajos de investigación, escalas de apreciación, métodos, medidas y principios de construcción, que en general son conocidos. Como en otros campos los conocimientos de esta clase, o las reglas que de ellos se derivan y que representan la situación de la técnica, se editan por la Comisión de Normas Alemanas como normas DIN, siempre que supongan amplio interés. Mediante la colaboración entre la Comisión de Normas Alemanas y la Organización Internacional para la Standarización se pretende una concordancia de las Normas DIN con dicha normalización internacional.

Las Normas DIN elaboran recomendaciones para las cuales deben lograrse modificaciones en la técnica y el mantenimiento de determinadas exigencias de calidad. Algunas normas han sido declaradas obligatorias legalmente; así por ejemplo la norma DIN 4109 se ha implantado en la República Federal Alemana como la base legal para la inspección y comprobación de edificaciones. Además de las normas DIN se han tomado también algunas normas VDI, que tienen su correspondiente importancia.

Norma	Asunto
DIN 4025, agosto de 1948	Fundaciones para martillos automáticos (directrices para el dimensionado y ejecución de fundaciones de martillos, protección de los alrededores de vibraciones molestas)
DIN 4109, agosto 1962/63	Protección de ruidos en edificios altos. Hoja 1: conceptos Hoja 2: exigencias. Hoja 3: ejemplos de construcción. Hoja 4: pavimentos flotantes sobre plantas macizas, directrices para la ejecución. Hoja 5: aclaraciones
DIN 4150, agosto 1939	La protección contra sacudidas en edificios.
DIN 5045, agosto 1963	Aparato de medidas de intensidad DIN (fundamentos del método de medida, curvas de valoración, propiedades del aparato de medida)
DIN 9756, agosto, 1958	Medida de la intensidad en las máquinas calculadoras.
DIN 18164, agosto, 1963	Espuma de plástico como sustancias aislantes en edificios (medidas, propiedades, ensayos).
DIN 18165, agosto, 1963	Aislantes fibrosos en edificios (medidas, propiedades, ensayos).
DIN 42540, (proyecto) agosto, 1961	Intensidades de transformadores.

DIN 45632 (norma previa) agosto, 1962	Medida de ruidos en máquinas eléctricas.
DIN 52232, agosto, 1960	Medidas para determinar la protección al ruido de la pisada y al ruido en el aire.
DIN 52212, agosto, 1961	Determinación del grado de absorción del sonido en la sala de resonancia.
DIN 52213, agosto, 1958	Determinación estadística de las resistencia a la corriente (medida de la resistencia a la corriente de las capas porosas absorbentes del sonido).
DIN 52214 (norma previa) agosto, 1960	Determinación de la rigidez dinámica de las capas aislantes para pavimentos flotantes.
DIN 52215 (proyecto) agosto, 1962	Determinación del grado de absorción del sonido y de la impedancia en tubo.
VDI 2056, agosto, 1960	Escala de clasificación de vibraciones mecánicas de máquinas.
VDI 2057 (proyecto) agosto 1961	Juicio del efecto de las vibraciones mecánicas sobre los hombres.
VDI 2058, agosto 1960	Juicio y protección del ruido del trabajo.

Mientras que el efecto del ruido en las fábricas sobre la vecindad puede llevarse por debajo del límite de la perturbación tomando medidas y precauciones en la construcción, a menudo hay que conseguir una protección contra el ruido para el personal. Los límites como máximos a mantener se encuentran en la norma VDI 2058: juicio y defensa del ruido del trabajo. Según ella la intensidad máxima en el lugar de trabajo debe ser como máximo:

50 fonios DIN para trabajos intelectuales duraderos;
70 fonios DIN para trabajos de oficina o actividad equivalente;
90 fonios DIN para otros trabajos.

La exigencia de un lugar de trabajo con poco ruido es tanto más fácil de cumplir cuanto más separado este el personal del proceso de trabajo, ya que entonces pueden realizarse medidas secundarias de protección de ruidos, tales como blindajes o pantallas. Por lo tanto al referirse a montas de instalaciones completamente automáticas no se debe en último lugar a razones acústicas.

La pauta para la elección de máquinas debe de ser el montaje de instalaciones tan silenciosas como sea posible según el estado actual de la técnica. Algunas sociedades fijan ya, en las condiciones de suministro, determinados límites al ruido. Para aprovechar completamente las posibilidades técnicas no deben de fijarse intensidades máximas, sino más bien curvas límites, que permitan en frecuencias bajas mayor nivel de sonido que en frecuencias altas. Se han acreditado también las condiciones según la valoración en dB (A) de las normas ASA, o de la curva de valoración 2 según la norma DIN 5045, tiene que tenerse muy presente que todas las medidas de protección de ruidos son más costosas y por lo tanto más caras, cuanto más baja sea la frecuencia a la que tiene que satisfacer determinada condición acústica

En la planificación y descripción de estos dispositivos técnicos es muy importante fijar todas las condiciones marginales bajo las cuales debe conseguirse la condición acústica; entre éstas tenemos:

- a) Pérdida de presión entre los amortiguadores de sonido. Un amortiguador de sonido es tanto más pequeño, y por consiguiente tanto más barato, cuando más pequeña sea la sección de la corriente. Hay que calcular la pérdida de carga, no debe sobrepasarse teniendo en cuenta los gastos de instalación y de servicios de la instalación.
- b) En las cubiertas protectoras de sonido, la utilidad de la máquina. Hay que fijar el número y tamaño de las vidrieras, ventanas y puertas. Como una cubierta impide la transmisión del calor hay que indicar secciones de ventilación suficientemente dimensionadas. Es de importancia también si la cabina debe montarse fija en un sitio o ha de ser transportable. Hay que especificar que a menudo son necesarios los trabajos de entrenamiento y que partes de la máquina tienen que ser accesibles en las reparaciones.
- c) En las suspensiones aisladas de vibraciones, la máxima amplitud de vibración de la máquina.
- d) Las protecciones contra corrosión y la calidad del material para todas las instalaciones. Hay que indicar si se va a contar con la acción de la humedad, medios agresivos, polvo, aceite o similares.

En la fijación del ruido admisible hay que tener en cuenta la adición del nivel con varias máquinas que trabajen simultáneamente. La perturbación por el ruido de otras máquinas tiene que estar como mínimo en las medidas para la recepción 6 dB por debajo del ruido a medir en todo campo de frecuencias. Una buena visión de conjunto sobre las normas más importantes para la protección de ruido en las fábricas lo dan las normas de la Asociación de Siderúrgicos Alemanes.

9.2. TÉCNICAS DE MOTIVACIÓN PARA EL USO DE PROTECTORES AUDITIVOS

La motivación para el cumplimiento de las normas de seguridad industrial es comparable con la necesidad de prevenir a un niño contra peligros que desconocen y ayudarle a formar hábitos que le permitan mantenerse a salvo de aquellos, puede ser tarea ardua pero una vez implantado el "buen hábito", es relativamente fácil mantenerlo como rutina.

Tanto para el aspecto ético como para el legal, cualquier esfuerzo queda justificado cuando se logra impedir la sordera causada por el ruido a los obreros.

Las políticas de empresa para el control de ruido y el adecuado cumplimiento de la reglamentación sobre seguridad e higiene chocan en múltiples ocasiones con el propio trabajador, que al no disponer de la información suficiente actúa según sus propios criterios reduciendo su efectividad. En uno de los aspectos que más directamente se observa esta incidencia es en el de los protectores auditivos.

Con este trabajo se ha querido poner de manifiesto la necesidad de concienciar al trabajador de la necesidad de un uso correcto de los protectores auditivos, aspecto que requiere evidentemente una información adecuada del trabajador cuyo comportamiento puede hacer fracasar la mejor política de empresa de protección frente a los riesgos asociados al ruido.

CONSEJO MEDICO Y AUDIOMETRÍA:

En muchos casos el doctor de la empresa es la persona más adecuada para fomentar el uso de protectores. El empleado considera sus comentarios como consejos médicos de alguien cuya preocupación principal es la buena salud general del sujeto en cuestión.

La evaluación audiométrica representa una buena oportunidad para recordar la importancia del uso de protección.

Puede ser recomendable enseñarle al trabajador los resultados de la audiometría. Si los niveles de audición son normales y estables, el trabajador será felicitado por haberse protegido. Si, por el contrario, se presentan desplazamientos significativos en el umbral de audición, se insistirá en la importancia del uso constante de protectores adecuados, y de que estos, a su vez, se encuentren en buenas condiciones.

INVOLUCRAR AL PERSONAL

Ésta es importante. Un empleado que sea respetado y goce de buena estima entre sus compañeros, puede ser elemento "clave" si él pone el ejemplo, la protección de protectores auditivos será bien vista ya que para ellos representará algo inteligente, respetable y digno de ser imitado.

Asimismo, el personal de mantenimiento, ingeniería e incluso de almacenes, así como las secretarías, deben recordar al obrero que se pongan sus tapones protectores. La colocación de posters y materiales gráficos en los accesos y áreas ruidosas recomendando el uso constante de los protectores auditivos constituye también una técnica de apoyo muy sencilla.

RELACIONES INDUSTRIALES

Se recomienda tanto buenas relaciones industriales como promoción para vender el programa. Por ejemplo, ofrecer a la familia directa del trabajador audiometrías de rastreo gratuitas, esto crea mayor conciencia y promueve la participación activa en el programa.

PROTECTORES AUDITIVOS

Será necesario determinar cual protector auditivo es el más adecuado, como resultado de sus índices de atenuación, comodidad e higiene de utilización.

Los índices de atenuación conocidos en EEUU como, Noise Reducción Rating (NRR) deberán ser proporcionados por el fabricante, bajo normas internacionales. Se deben investigar varias marcas y tipos, para seleccionar los protectores que mejor se adapten a las necesidades de seguridad de la empresa. Es recomendable ofrecer al trabajador más de un tipo de protector, (por ejemplo una orejera y dos tipos de tapones) para que seleccione el que más le convenza.

Al poder elegir los protectores de su preferencia, el trabajador no siente que se le impone una obligación, por lo que se le facilita que contribuya voluntariamente con el programa y utilice los protectores auditivos.

SEÑALIZACIÓN DE ZONAS RUIDOSAS

La obligación patronal de delimitar las zonas donde exista riesgo de exposición a ruido y señalar con avisos de seguridad las zonas de exposición en las áreas de trabajo. dichos avisos deberán ser colocados en lugares visibles y ajustarse, en general, a la Norma Oficial Mexicana correspondiente.

En virtud de que a la fecha no se ha publicado ninguna Norma Oficial Mexicana sobre señalización de áreas ruidosas. Conforme al programa del Comité Técnico ISO/TC 80 (colores y señales de seguridad) abarca el establecimiento de señales estandarizadas, pero la ISO tampoco ha creado todavía ninguna para indicar las zonas ruidosas. Como ejemplos se sugieren las siguientes señales:

- a. para la zona de 85 dB(A)(nivel de alarma): una señal triangular amarilla con borde negro y fondo blanco. de 45x60 cm de tamaño que se colocará en el límite exterior de la zona;
- b. para la zona de 90 dB (A) nivel de peligro: una señal circular que muestra, en blanco sobre fondo azul, la silueta de una cabeza provista de un dispositivo de protección del oído con medidas de 40x60 cm, que se colocará en el límite exterior de la zona para indicar la necesidad de tomar medidas de protección auditiva.
- c. Para la zona de 140 dB (A): una señal circular blanca con borde rojo, y en negro una mano abierta en el ademán que ordena detenerse, con medidas de 45 x 60cm. Que se colocará el límite de la zona para que no se ingrese en ella.

10. ESTUDIO DE RUIDO EN UNA PLANTA INDUSTRIAL DE ABSORCIÓN

10.1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Los principales objetivos de este estudio son:

1. Determinar las áreas que presentan riesgos potenciales capaces de causar lesiones auditivas por la exposición al ruido industrial en la planta de absorción.
2. Realizar el análisis de frecuencia en donde existan niveles de presión sonora continuo equivalente arriba de 90 dB (A).
3. Localizar las fuentes generadoras de ruido.
4. Establecer las zonas de influencia de las fuentes generadoras de ruido, por medio de curvas isosónicas.
5. Determinar por disimetría niveles sonoros continuos equivalentes, de los trabajadores potencialmente expuestos, durante su jornada de labores.
6. Cálculo del nivel sonoro real ala que están expuestos los trabajadores en las distintas áreas de la planta, usando el equipo de protección personal auditivo recomendado.
7. En caso de ser necesario, proponer las distintas alternativas para eliminar, atenuar y proteger a los trabajadores del ruido generado por las fuentes emisoras.

10.2. DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN EMPLEADOS

Para efectuar los análisis de presión sonora y de frecuencias de las distintas áreas de la planta de absorción del complejo petroquímico Reynosa, se utilizó un sonómetro de precisión marca Bruel & Kjaer tipo 2230 con micrófono para campo libre tipo 4155 y un juego de filtros para análisis de frecuencia por 1/1 1/1, de banda de octava tipo 1625 acoplado al sonómetro, así como un Pistófono tipo 4230 para su calibración, ambos de la marca, mencionada anteriormente.

Para la elaboración de las curvas isosónicas y la localización de las fuentes generadoras de ruido, se utilizo un medidor de intensidad sonora marca Bruel & Kjaer, modelo 4433. con los siguientes accesorios: analizador de 1/1 octava de 63 Hz. A 8 Hz. Analizador lineal con ponderación (A), una sonda de intensidad sonora, modelo 3520 con los micrófonos modelo 4183 prepolarizado, con espaciador de 12 mm. Todo esto de la marca mencionada anteriormente.

PROTECTORES AUDITIVOS

Será necesario determinar cual protector auditivo es el más adecuado, como resultado de sus índices de atenuación, comodidad e higiene de utilización.

Los índices de atenuación conocidos en EEUU como, Noise Reducción Rating (NRR) deberán ser proporcionados por el fabricante, bajo normas internacionales. Se deben investigar varias marcas y tipos, para seleccionar los protectores que mejor se adapten a las necesidades de seguridad de la empresa. Es recomendable ofrecer al trabajador más de un tipo de protector, (por ejemplo una orejera y dos tipos de tapones) para que seleccione el que más le convenza.

Al poder elegir los protectores de su preferencia, el trabajador no siente que se le impone una obligación, por lo que se le facilita que contribuya voluntariamente con el programa y utilice los protectores auditivos.

SEÑALIZACIÓN DE ZONAS RUIDOSAS

La obligación patronal de delimitar las zonas donde exista riesgo de exposición a ruido y señalar con avisos de seguridad las zonas de exposición en las áreas de trabajo. dichos avisos deberán ser colocados en lugares visibles y ajustarse, en general, a la Norma Oficial Mexicana correspondiente.

En virtud de que a la fecha no se ha publicado ninguna Norma Oficial Mexicana sobre señalización de áreas ruidosas. Conforme al programa del Comité Técnico ISO/TC 80 (colores y señales de seguridad) abarca el establecimiento de señales estandarizadas, pero la ISO tampoco ha creado todavía ninguna para indicar las zonas ruidosas. Como ejemplos se sugieren las siguientes señales:

- a. para la zona de 85 dB(A)(nivel de alarma): una señal triangular amarilla con borde negro y fondo blanco. de 45x60 cm de tamaño que se colocará en el límite exterior de la zona;
- b. para la zona de 90 dB (A) nivel de peligro: una señal circular que muestra, en blanco sobre fondo azul, la silueta de una cabeza provista de un dispositivo de protección del oído con medidas de 40x60 cm, que se colocará en el límite exterior de la zona para indicar la necesidad de tomar medidas de protección auditiva.
- c. Para la zona de 140 dB (A): una señal circular blanca con borde rojo, y en negro una mano abierta en el ademán que ordena detenerse, con medidas de 45 x 60cm. Que se colocará el límite de la zona para que no se ingrese en ella.

En la segunda etapa, para efectuar la dosimetría entre el personal seleccionado, se utilizó un dosímetro de la marca metrosonics, modelo DB-301 / 301P Metrologger. Obteniéndose el nivel sonoro continuo equivalente (Leq.)

10.3. PROCEDIMIENTO

Se recorrió el área de la planta de absorción del complejo petroquímico Reynosa, procediéndose a determinar los valores de los niveles sonoros continuos equivalentes en las distintas zonas donde los trabajadores desarrollan sus actividades. Seleccionándose los puntos de medición de tal forma que describieran el entorno ambiental de una forma confiable. Siendo la localización de éstos, función de la distribución de la maquinaria y equipos en las distintas áreas, así como del proceso de producción de las facilidades para su ubicación. Todos los puntos de medición fueron identificados con un número progresivo, registrándose su posición en el plano. Así como el valor del NSCE en los casos que sea mayor de 90 dB (A), Y si es mayor se localizará los niveles en la tabla de cálculo del factor de reducción de los equipos de protección auditivo personal.

Posteriormente se realizó el análisis de frecuencia en los lugares donde se presentaron niveles sonoros continuos equivalentes mayores de 90 dB (A) por banda de octava.

Se construyeron las curvas isosónicas de la siguiente manera:

Con el medidor de intensidad sonora se determino el equipo y lugar donde se genera el ruido con valores altos en las frecuencias comprendidas entre 2000 a 4000Hz. Y una vez definido el lugar crítico se procede a desplazar el equipo medidor en distintas direcciones previamente determinadas, hasta encontrar un nivel sonoro "A" que difiera intervalos de 3 dB aproximadamente con respecto al de referencia y, posteriormente al inmediato consecutivo.

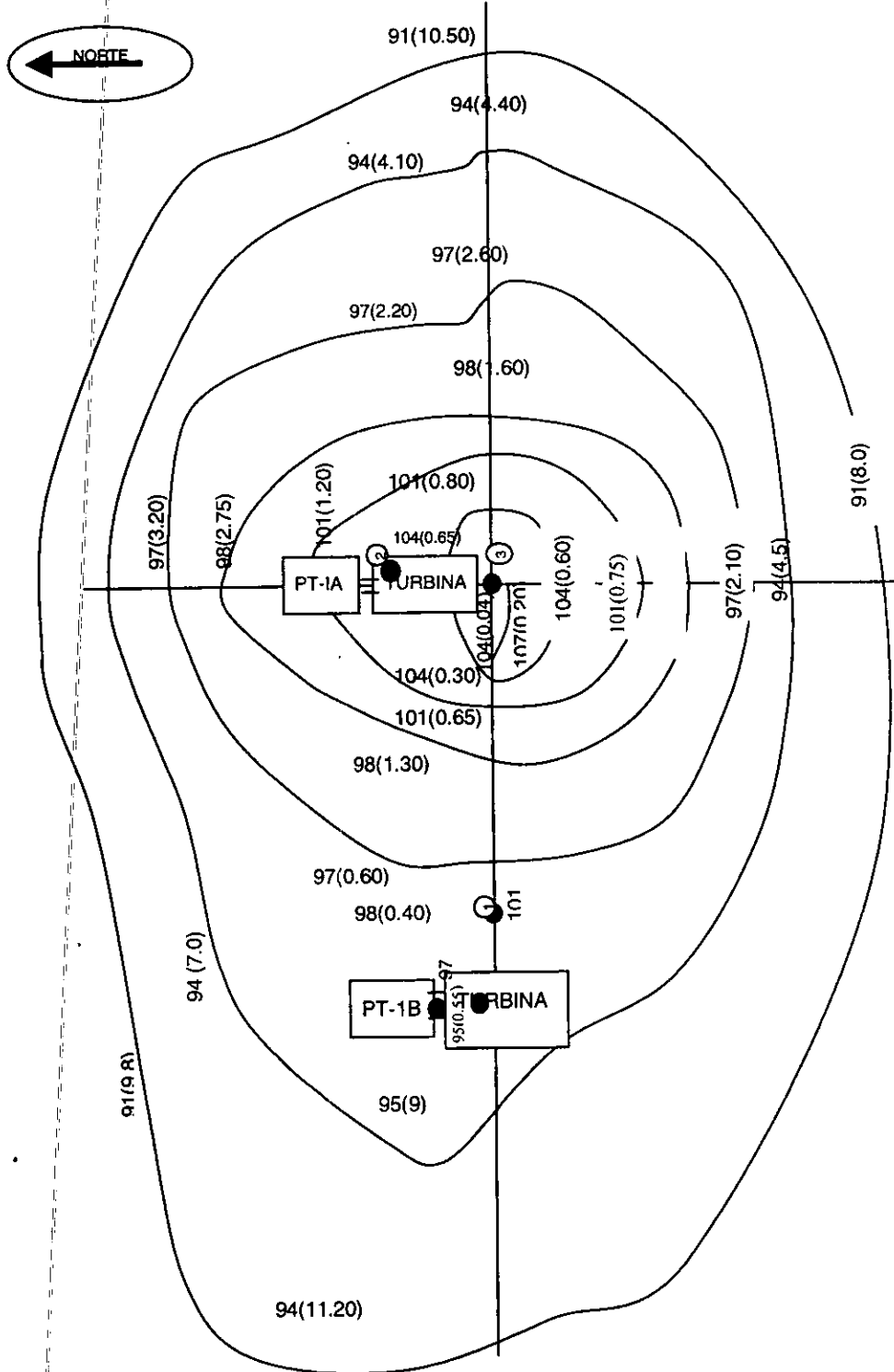
Esto se repitió a lo largo de la trayectoria, hasta cubrir la zona de evaluación.

Como segunda parte de este estudio, se efectuó la dosimetría entre los trabajadores de las categorías seleccionadas y que durante el desempeño de sus labores estén expuestos a niveles de ruido mayores de 90 dB (A), para esto se les instaló un dosímetro cuyo micrófono fue colocado en la solapa de la camisa a la altura del oído esto durante su jornada de trabajo se retiró el dosímetro, procediendo a tomar sus lecturas.

10.4. PLANOS

En los planos se numeraron progresivamente los puntos donde se realizaron las lecturas, y los análisis de frecuencia y en los puntos en los que se detectaron valores debajo de 90 dB (A), éstos se anotaron directamente en los planos guía, los cuales se anexan y donde se incluye los levantamientos de las curvas isosónicas con los valores determinados en campo, donde se puede ver las zonas de influencia de los focos principales generadores de ruido, su localización, valor máximo, previa selección de la frecuencia problemática.

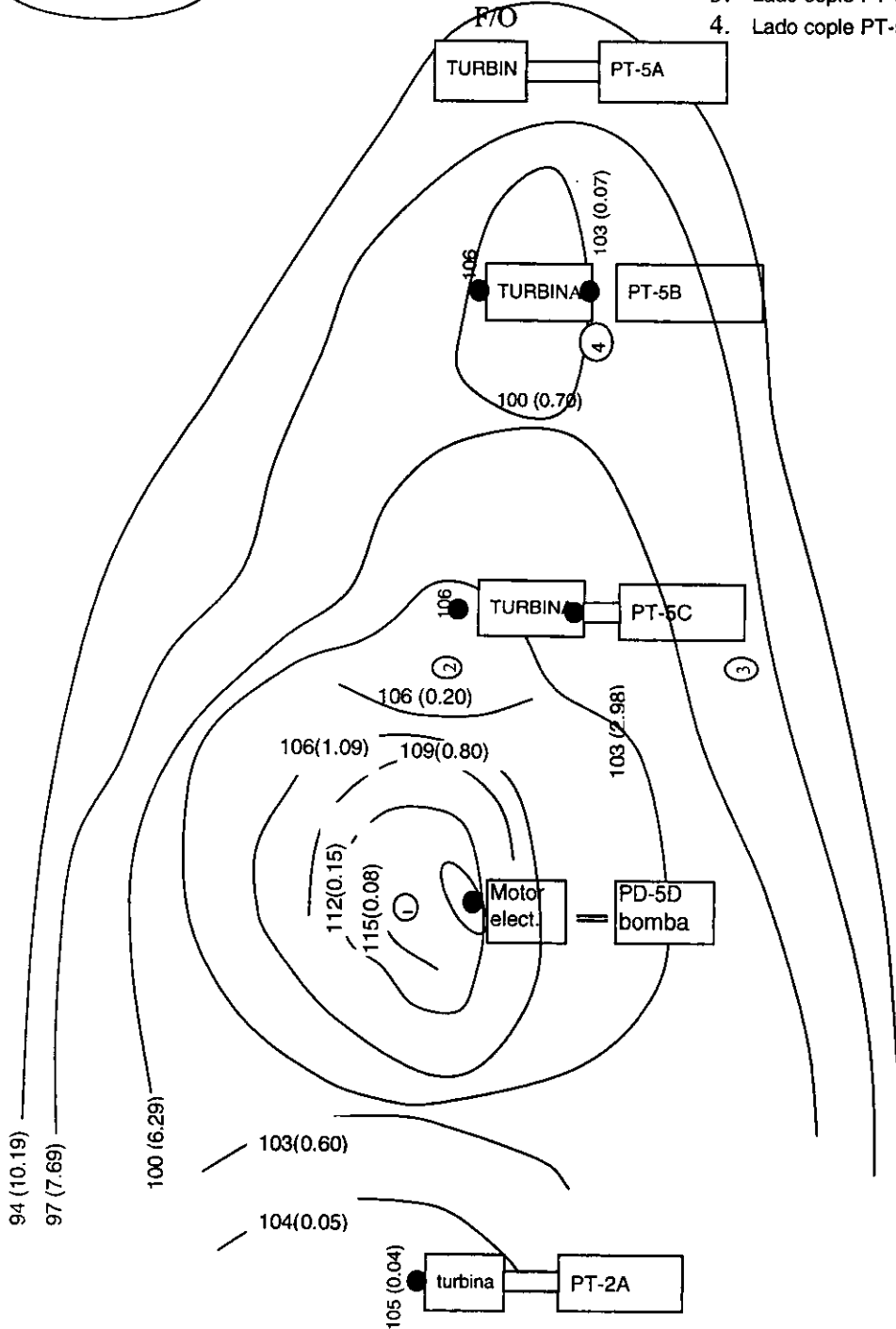
1. NSCE MÁXIMO 104 dB(A) EN PT - IA
2. LADO COPLE PT-1A
3. LADO CONTRA COPLE PT-1A
4. NSCE MÁXIMO DE 104 dB (A) EN PT-IA

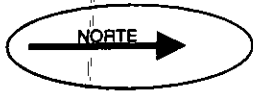


NSCE MAYORES DE 118 dB (A) EN ENTRADA DE VENTILADOR CON MOTOR ELECTRICO



1. Lado cople PM-5D
2. Lado contracople PT-5C
3. Lado cople PT-5C
4. Lado cople PT-5B



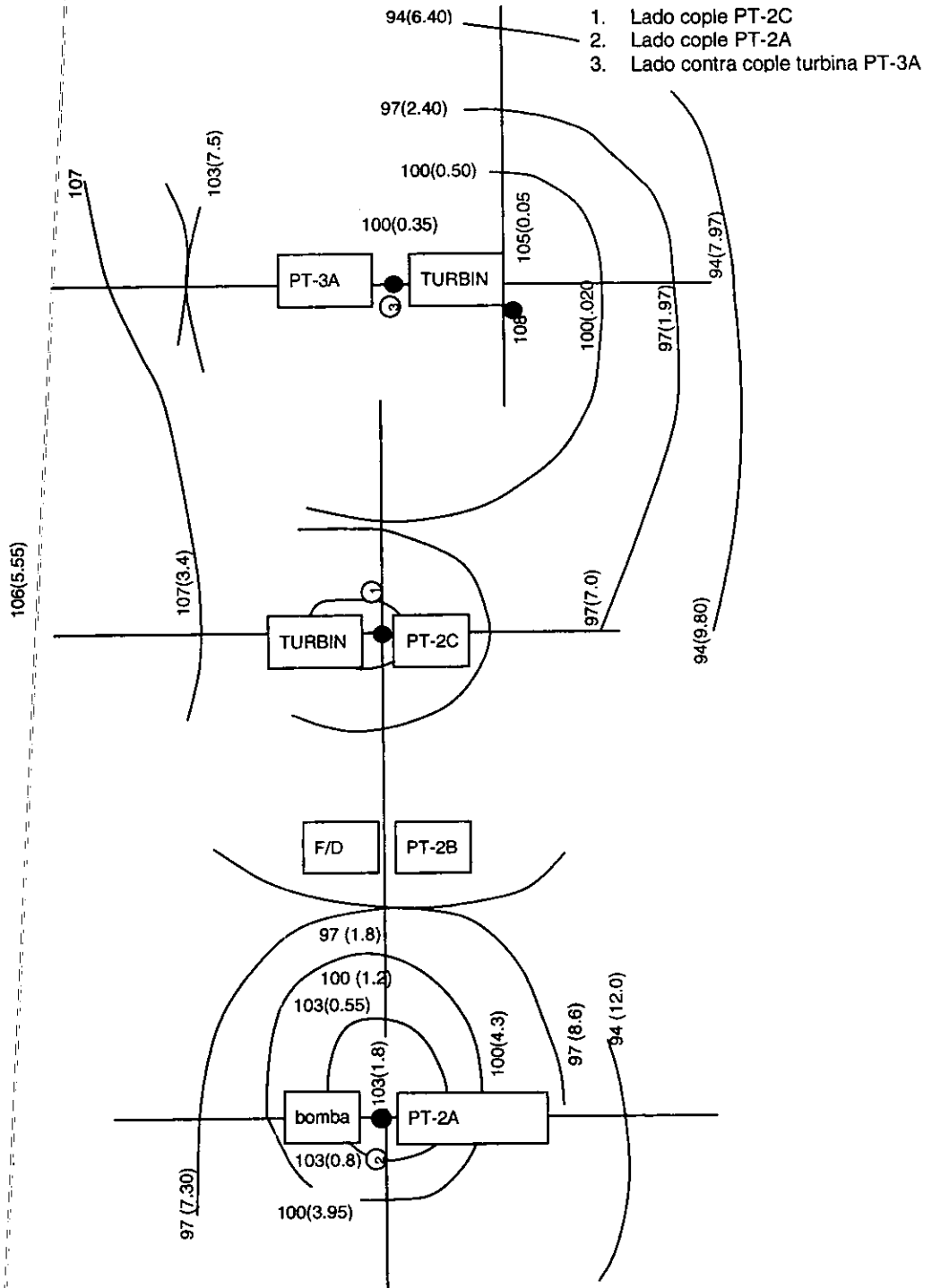


NSCE MAYOR EN EL FOCO GENERADOR DE RUIDO

PT-2A 118 dB(A)

PT-2C 106 dB(A)

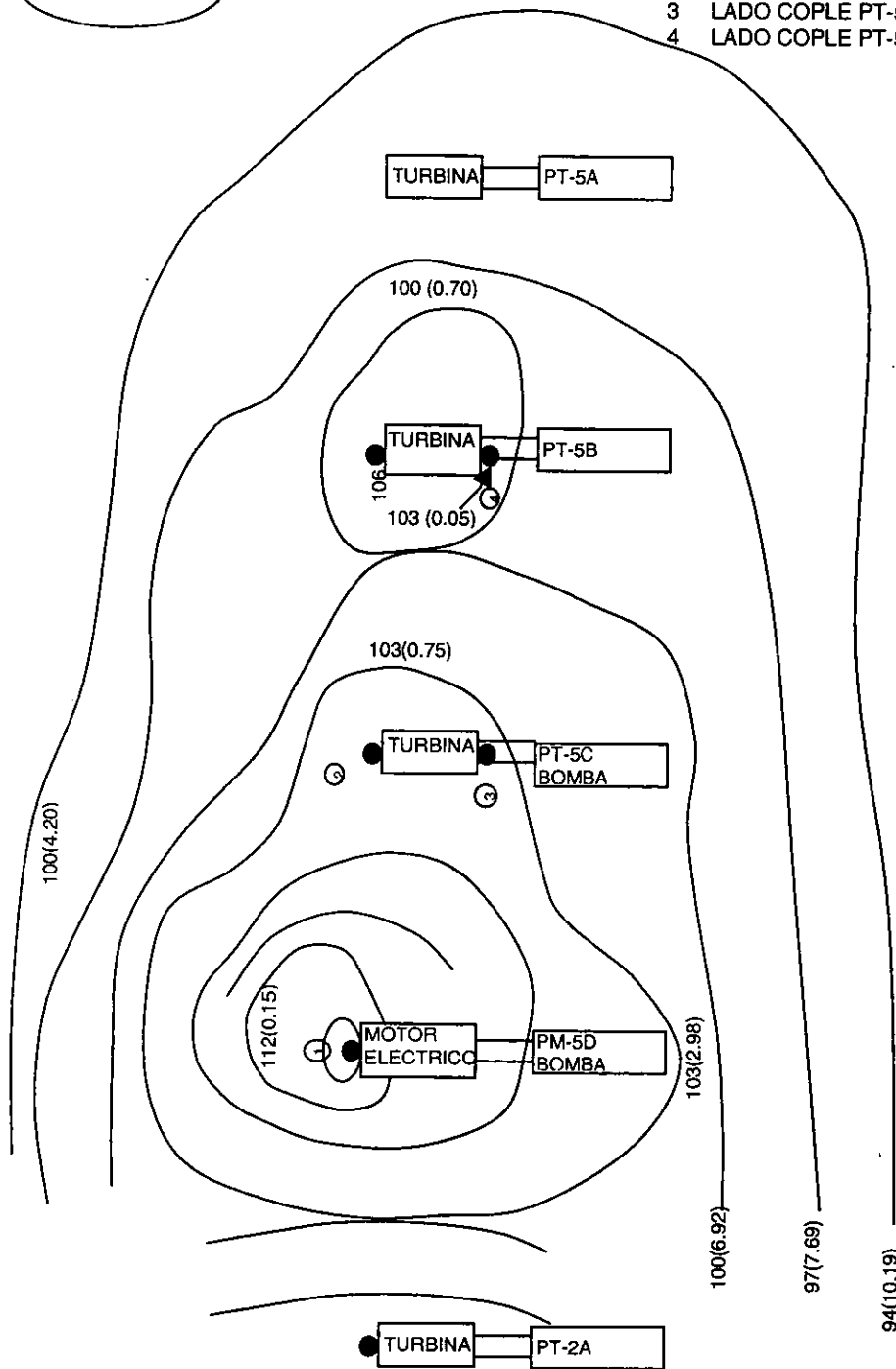
PT-3A 108 dB(A)



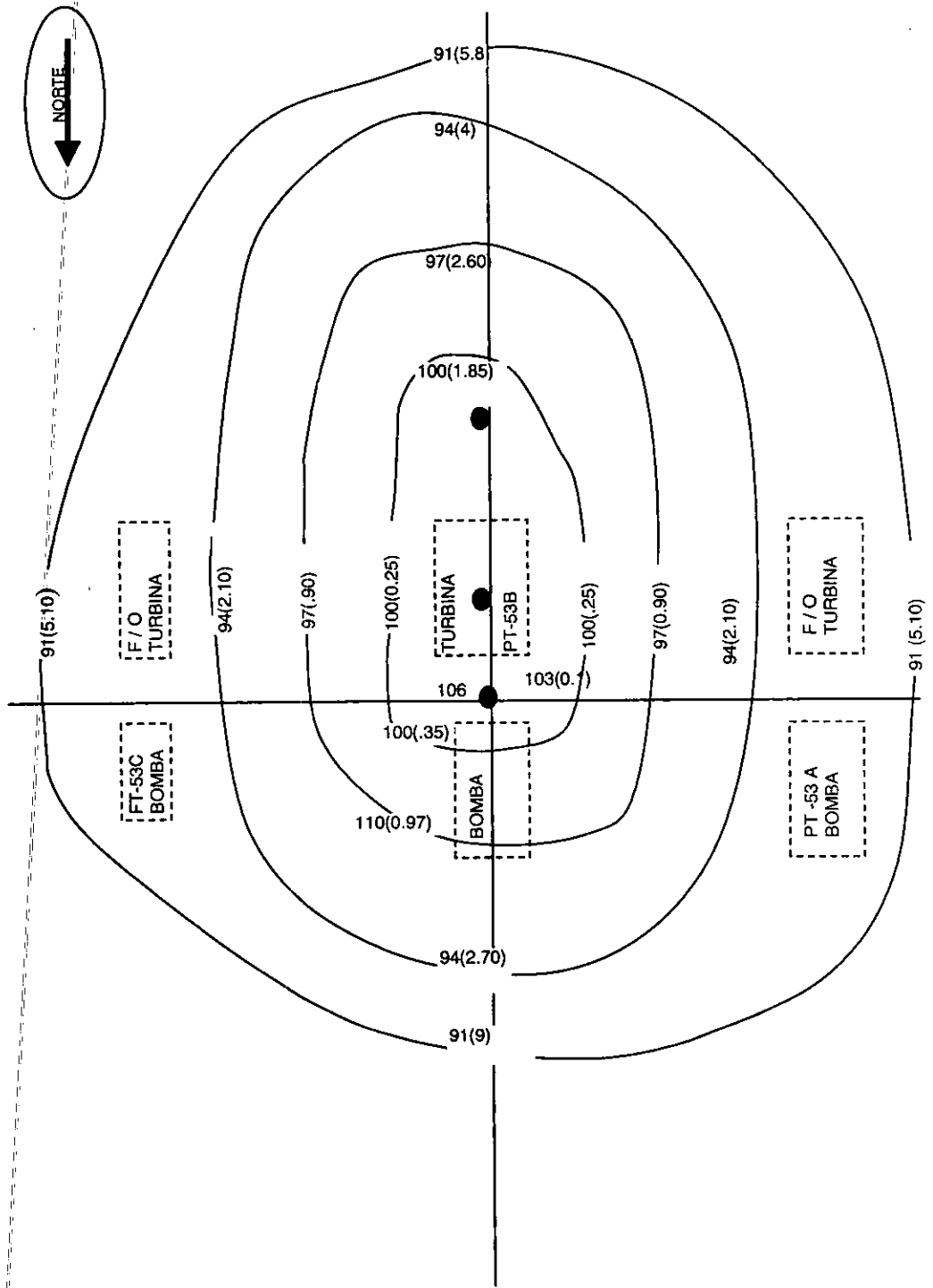
NSCE ENTRADA VENTILADOR DE MOTOR ELÉCTRICO



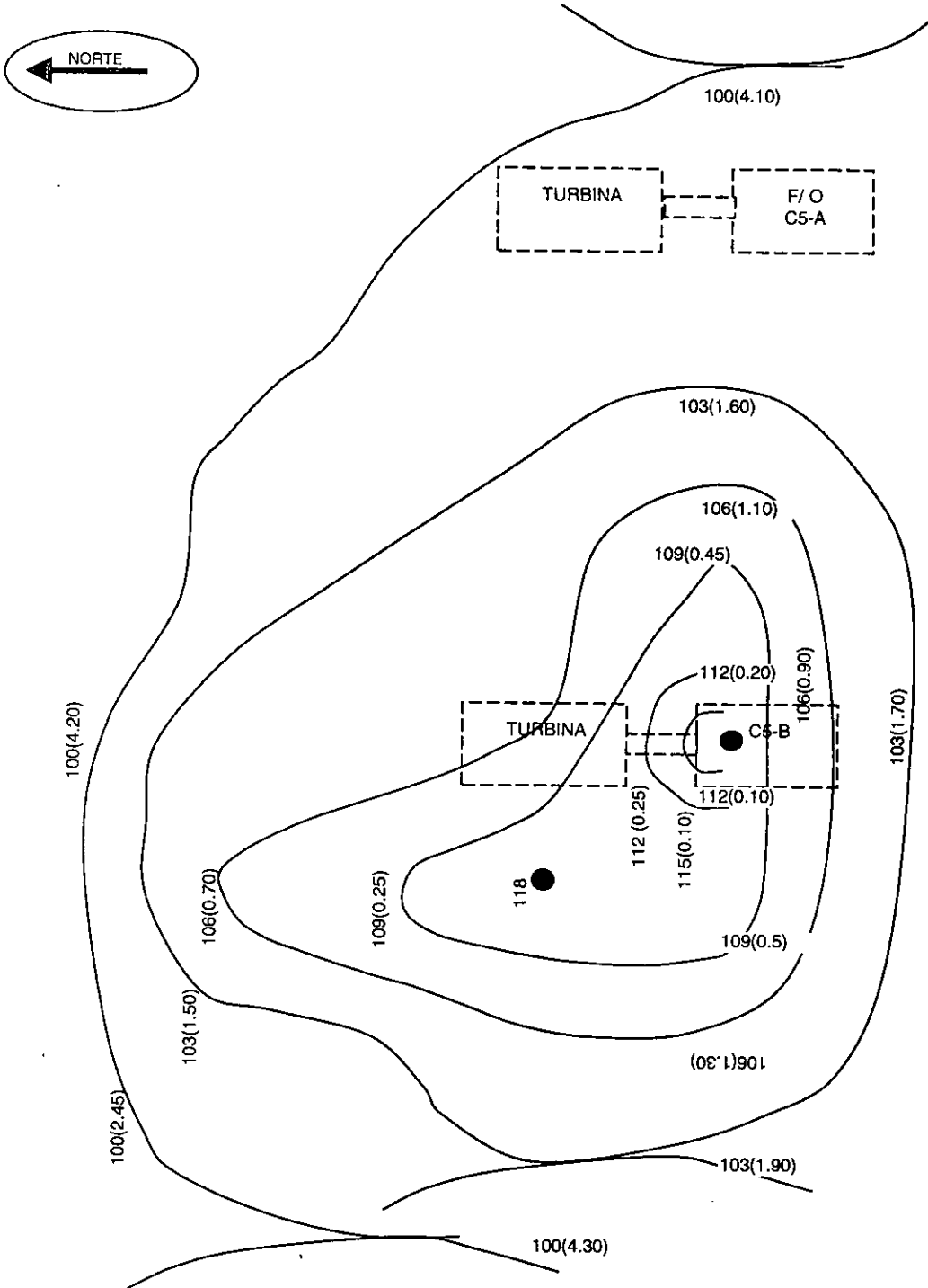
- 1 LADO CONTRA COPLE PM-5D
- 2 LADO CONTRA COPLE PT-5C
- 3 LADO COPLE PT-5C
- 4 LADO COPLE PT-5B



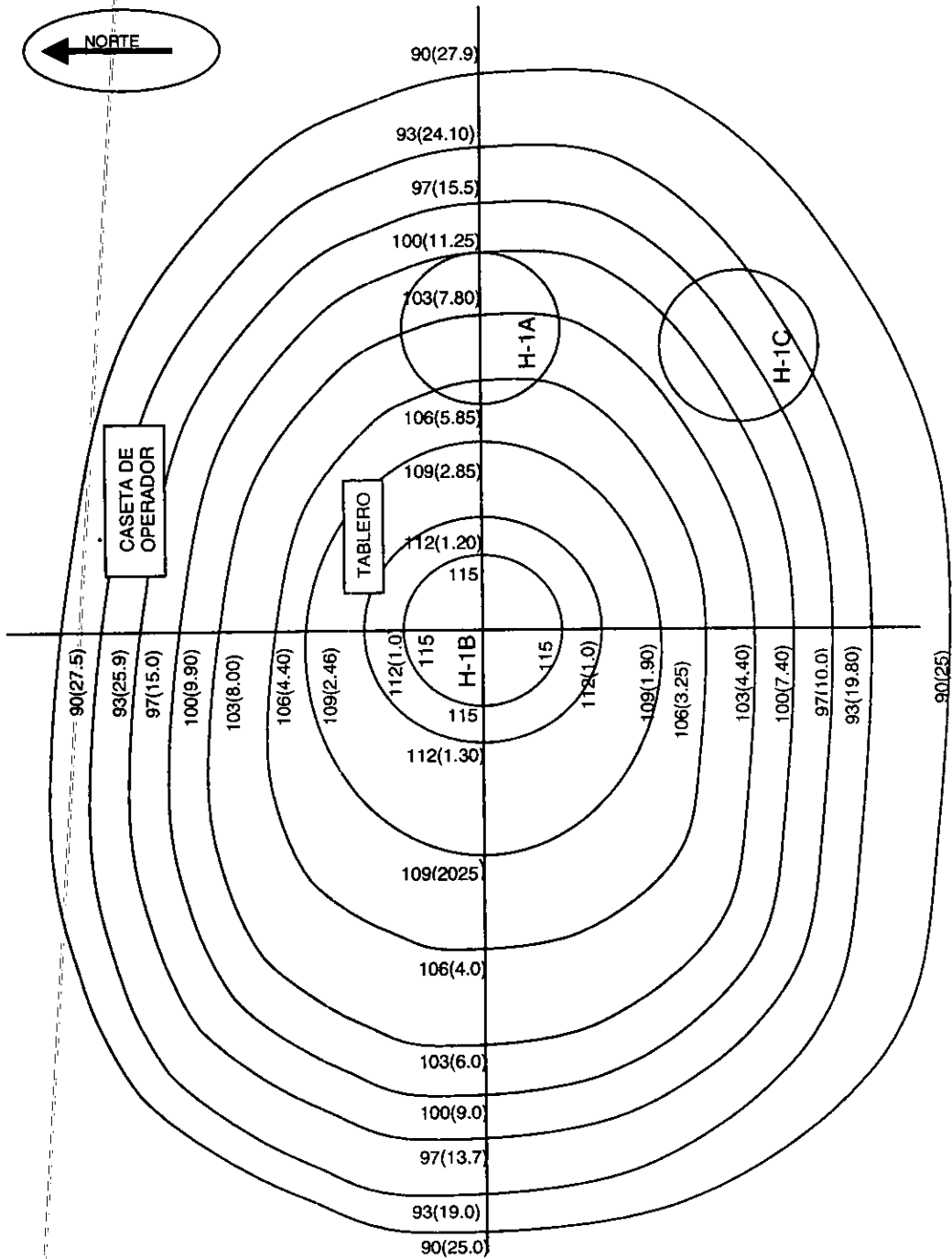
- NSCE MÁXIMA ES DE 106 dB (A)
- GENERADO EN PURGA DE LA TURBINA DE LA TURBO-BOMBA PT-53B
- EN CHUMACERA LADO COPLE



COMPRESOR DE REGRIGERACIÓN C5-B NSCE MAYOR 118 dB (A) FOCO PRINCIPAL GENERADOR DE RUIDO
 - ENTRADA LATERAL DE COMPRESOR
 - JUNTA DE EXPANSIÓN VAPOR EXHAUSTO



CALENTADORES DE ACEITE RICO NSCE MÁXIMO 115 Db (A) FUENTE GENERADORA DE RUIDO



CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN DEL PROTECTOR AUDITIVO PERSONAL CON EL QUE CUENTA EL CENTRO DE TRABAJO

Cálculo del factor de reducción "R" en dB (A) y el nivel sonoro real expuesto a los trabajadores a partir de la atenuación de la presión acústica por octavas de bandas, de los equipos de protección personal auditiva, suministrados en una planta de absorción
Registro de estudio 1 fecha de estudio

10.5. CÁLCULOS Y RESULTADOS

A continuación se encuentran los cálculos de atenuación de los equipos de protección auditiva, para los casos de los protectores auditivos tipo copa MSA MARK-IV-MC, protector auditivo tipo copa marca WELSH modelo 4530, los tapones E- A- R auto ajustables y de los equipos con los que cuenta en centro de trabajo, que son tapones ultrafit K- A- R, y las orejeras E- A- R, tipo copa modelo 1000 con los cuales se calculó los niveles sonoros reales de exposición a los que estarían los trabajadores, usando el equipo de protección auditivo con que cuenta el centro de trabajo y el recomendado de acuerdo a las frecuencias específicas de cada área de trabajo.

Así mismo en los cálculos están determinados los tiempos máximos de exposición permisibles continuo de trabajo por turno de ocho horas sin equipo de protección auditivo para cada área, de acuerdo a las características del ruido que se genera en la misma.

Es necesario aclarar que los datos de atenuación del equipo protector auditivo reportados en las tablas de resultados son los que reporta el fabricante.

EJEMPLO DEL CÁLCULO DEL FACTOR DE REDUCCIÓN "R"

A continuación se desarrolla un ejemplo del cálculo del factor de reducción "R" del registro número 9 del estudio de ruido de acuerdo a lo establecido en la NOM-011-STPS-1993 en su anexo número 5.

Se tiene un nivel sonoro "A" de 93 dB (A), respuesta lenta en el centro de trabajo, del análisis de frecuencia es el siguiente.

Banda de octava Hz.	125	250	500	1000	2000	4000	8000
NPA/ banda de octava dB	88	84	82	85	92	84	82

Y el espectro de atenuación del equipo XY, que se desea utilizar es el siguiente:

Banda de octava Hz	125	250	500	1000	2000	3150	4000	6300	8000
NPA/ banda de octava dB (La)	33.6	33.0	34.4	31.2	33.3	37.4	37.6	41.4	45.3

La = Nivel de atenuación del equipo protector.

**CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN DEL PROTECTOR AUDITIVO PERSONAL CON EL QUE
CUENTA EL CENTRO DE TRABAJO**

Cálculo del factor de reducción "R" en dB (A) y el nivel sonoro real expuesto a los trabajadores a partir de la atenuación de la presión acústica por octavas de bandas, de los equipos de protección personal auditiva, suministrados en una planta de absorción
 Registro de estudio 1 fecha de estudio

Se necesita conocer cual es el factor de reducción R, en dB (A) que proporciona dicho equipo, lo cual de acuerdo a la NOM-011-STPS-1993 se tiene lo siguiente:

- Q1= 33.6+16.2 dB
- Q2= 33+8.7 dB
- Q3= 34.4+3.3dB
- Q4= 31.2+0
- Q5=33.3-1.2 dB
- Q6= ((37.4+37.6)/2) - 1.0 dB
- Q7= ((41.4+45.3)/2)+ 1.1 dB

Qi	(0.1 x (Li - Qi))		Antilog (0.1 x (Li - Qi))
Q1 = 49.8 dB	8.8-3.36	=5.4	275422.8703
Q2 = 41.7 dB	8.4-3.3	=5.1	125892.5412
Q3 = 37.7 dB	8.2-3.44	=4.76	57543.9937
Q4 = 31.2 dB	8.5-3.12	=5.38	239883.2919
Q5 = 32.1 dB	9.2-3.33	=5.87	741310.2413
Q6 =36.5 dB	8.4-3.76	=4.64	43651.5832
Q7 = 44.45 dB	8.2-4.53	=3.67	4677.3514
			$\Sigma = 1488381.873$

$$S = \sum_{i=1}^7 \text{antilog}(0.1(Li - Qi))$$

S = 1488381.873.

R = La - 10 log S - 10.

R = 21.28.

R es el factor de reducción utilizando protector auditivo tipo tapón Ultrafit. Por lo tanto se tiene en la zona con nivel sonoro de 93 dB (A) 71.72 dB (A). Es preciso aclarar que los datos reportados por el fabricante no concuerdan con los resultados de atenuación que resulta de desarrollar el cálculo de acuerdo a lo reportado en la NOM-011-STPS-1993 como de observa en el ejemplo que se acaba de deducir.

CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN DEL PROTECTOR AUDITIVO PERSONAL CON EL QUE CUENTA EL CENTRO DE TRABAJO

Cálculo del factor de reducción "R" en dB (A) y el nivel sonoro real expuesto a los trabajadores a partir de la atenuación de la presión acústica por octavas de bandas, de los equipos de protección personal auditiva, suministrados en una planta de absorción

Registro de estudio 1 fecha de estudio

TABLAS DE RESULTADOS DEL ESTUDIO DE RUIDO

A continuación se dan a conocer en las tablas los resultados obtenidos durante el levantamiento del estudio de ruido realizado a la planta industrial de absorción, en el se dan a conocer el numero de registro de con la ubicación, el nivel sonoro en el lugar correspondiente el decibel prevaleciente de acuerdo a la banda de octavas, el nivel de ruido con el uso de protectores auditivos y, el tiempo máximo de permanencia en la zona sin correr riesgo.

Cabe mencionar que en la primera parte se dan a conocer los resultados con el uso de protectores auditivos que la empresa proporciona a sus empleados.

Posteriormente los resultados incluyen el equipo seleccionado que se recomienda y que cubre las necesidades para una mejor atenuación del ruido con lo que se detecta una mejora en la productividad de la empresa, por lo que en resumidas cuentas el protector auditivo que mejor cubre las características de atenuación del ruido en la gran mayoría de los casos es el Tapon E-A-R auto ajustable.

**CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN DEL PROTECTOR AUDITIVO PERSONAL CON EL QUE
CUENTA EL CENTRO DE TRABAJO**

Cálculo del factor de reducción "R" en dB (A) y el nivel sonoro real expuesto a los trabajadores a partir de la atenuación de la presión acústica por octavas de bandas, de los equipos de protección personal auditiva, suministrados en una planta de absorción

Registro de estudio 1 fecha de estudio

Sitio o equipo donde se realizó la medición	Análisis de frecuencia por banda de octava		ATENUACIÓN DEL EQUIPO DE PROTECCIÓN AUDITIVA dB (A)			Máximo tiempo de exposición permisible continuo de trabajo por turno de 8 hs. Sin equipo de protección auditiva.
	Nivel de presión Sonora dB (A)	Hz	dB (A)	NIVEL SONORO REAL DE EXPOSICIÓN dB (A)		
C. P. G. REYNOSA : PLANTA DE ABSORCIÓN						
Registro # 9 N° del Sitio o equipo Pasillo exterior lado poniente casa de compresores de refrigeración (93.00)	C5-A 125 250 500 1000 2000 4000 8000	88 84 82 85 92 84 82	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 24.12, 68.88	Orejeras tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 20.62 72.38	---	4: horas
Registro # 10 N° del Sitio o equipo Pasillo exterior lado sur oriente Casa de compresores de Refrigeración (90.00)	C-5B 125 250 500 1000 2000 4000 8000	87 81 81 83 86 82 79	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 26.24 (63.76)	Orejeras tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 20.53 (69.47)	----	8:00 horas
Registro # 16 N° del Sitio o equipo Pasillo interior lado norte compresor de refrigeración (97.00)	C5-B 125 250 500 1000 2000 4000 8000	87 81 81 83 86 82 79	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 26.45 (70.55)	Orejeras tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 23.44 (73.56)	----	1:35 horas
Registro #17 N° del Sitio o equipo Pasillo interior lado oriente del compresor de refrigeración (95.00)	C5-B 125 250 500 1000 2000 4000 8000	102 86 90 88 93 88 83	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 24.37 (70.63)	Orejeras tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 14.95	---	2:40 horas

**CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN DEL PROTECTOR AUDITIVO PERSONAL CON EL QUE
CUENTA EL CENTRO DE TRABAJO**

Cálculo del factor de reducción "R" en dB (A) y el nivel sonoro real expuesto a los trabajadores a partir de la atenuación de la presión acústica por octavas de bandas, de los equipos de protección personal auditiva, suministrados en una planta de absorción

Registro de estudio 1 fecha de estudio

Sitio o equipo donde se realizo la medición	Análisis de frecuencia por banda de octava		ATENUACIÓN DEL EQUIPO DE PROTECCIÓN AUDITIVA dB (A)			Máximo tiempo de exposición permisible continuo de trabajo por turno de 8 hs. Sin equipo de protección auditiva.
	Nivel de presión Sonora dB (A)	Hz	DB (A)	NIVEL SONORO REAL DE EXPOSICIÓN dB (A)		
Registro #18 N° del Sitio o equipo Pasillo interior lado norte del compresor de refrigeración (99.00)	C5-B 125 250 500 1000 2000 4000 8000	100 87 90 93 96 90 85	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 25.41 (73.59)	Orejeras tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 19.33 (79.67)	----	1:00 horas
Registro # 19 N° del Sitio o equipo Pasillo interior lado poniente del compresor de refrigeración. (98.00)	C5-B 125 250 500 1000 2000 4000 8000	91 88 87 91 96 89 87	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 24.87 (73.13)	Orejeras tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 21.41 (76.59)	----	1:15 horas
Registro # 29 N° del Sitio o equipo Turbo – bomba de aceite pobre lado oriente (91.00)	PT-1A 125 250 500 1000 2000 4000 8000	87 82 85 86 87 86 80	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 25.44 (65.56)	Orejeras tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 19.62 (71.38)	----	6.15 horas
Registro # 30 N° del Sitio o equipo Turbo – bomba de aceite pobre lado norte (92.00)	PT-1A 125 250 500 1000 2000 4000 8000	90 82 85 85 86 84 88	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 27.28 (64.72)	Orejeras tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 19.59 (72.41)	----	5:00 horas

**CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN DEL PROTECTOR AUDITIVO PERSONAL CON EL QUE
CUENTA EL CENTRO DE TRABAJO**

Cálculo del factor de reducción "R" en dB (A) y el nivel sonoro real expuesto a los trabajadores a partir de la atenuación de la presión acústica por octavas de bandas, de los equipos de protección personal auditiva, suministrados en una planta de absorción

Registro de estudio 1 fecha de estudio

Sitio o equipo donde se realizo la medición	Análisis de frecuencia por banda de octava		ATENUACIÓN DEL EQUIPO DE PROTECCIÓN AUDITIVA dB (A)			Máximo tiempo de exposición permisible continuo de trabajo por turno de 8 hs. Sin equipo de protección auditiva.
	Nivel de presión Sonora dB (A)	Hz	DB (A)	NIVEL SONORO REAL DE EXPOSICIÓN dB (A)		
Registro # 31 N° del Sitio o equipo Turbo – bomba de aceite pobre lado poniente. (94.00)	PT-1A 125 250 500 1000 2000 4000 8000	85 89 84 86 87 88 90	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 27.80 (66.20)	Orejas tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 19.86 (74.14)	----	3:15 horas
Registro # 32 N° Del sitio o equipo Turbo – bomba de aceite pobre, lado sur (94.00)	PT-1A 125 250 500 1000 2000 4000 8000	88 87 84 90 89 86 85	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 26.14 (67.86)	Orejas tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 20.28 (73.72)	----	3.15 horas
Registro # 33 N° Del sitio o equipo Frente al tablero de bombas PT-1 y PT-1A (91.00)	PT-1A 125 250 500 1000 2000 4000 8000	86 89 82 83 87 86 85	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 25.83 (65.17)	Orejas tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 17.91 (73.09)	----	6:15 horas
Registro # 35 N° Del sitio o equipo Frente a las bombas PM-31A/B Lado oriente (92.00)	PAS-CENT 125 250 500 1000 2000 4000 8000	86 81 85 85 86 86 86	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 27.13 (64.87)	Orejas tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 20.71 (71.29)	----	5:00 horas

**CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN DEL PROTECTOR AUDITIVO PERSONAL CON EL QUE
CUENTA EL CENTRO DE TRABAJO**

Cálculo del factor de reducción "R" en dB (A) y el nivel sonoro real expuesto a los trabajadores a partir de la atenuación de la presión acústica por octavas de bandas, de los equipos de protección personal auditiva, suministrados en una planta de absorción

Registro de estudio 1 fecha de estudio

Sitio o equipo donde se realizó la medición	Análisis de frecuencia por banda de octava		ATENUACIÓN DEL EQUIPO DE PROTECCIÓN AUDITIVA dB (A)			Máximo tiempo de exposición permisible continuo de trabajo por turno de 8 hs. Sin equipo de protección auditiva
	Nivel de presión Sonora dB (A)	Hz	dB (A)	NIVEL SONORO REAL DE EXPOSICIÓN dB (A)		
Registro # 36 N° Del sitio o equipo Pasillo central frente a la bomba PT-5C lado oriente. (96.00)	PAS-CEN. 125 250 500 1000 2000 4000 8000	86 84 90 89 89 90 90	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 27.61 (68.39)	Orejeras tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 20.92 (75.08)	----	2:00 horas
Registro # 37 N° Del sitio o equipo: Moto- bomba de gasolina lado norte (99.00)	PM-5D 125 250 500 1000 2000 4000 8000	84 81 86 87 90 93 95	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 29.64 (69.36)	Orejeras tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 23.84 (75.16)	----	1.00 horas
Registro # 38 N° Del sitio o equipo: Moto - bomba de gasolina lado poniente. (99.00)	PM-5D 125 250 500 1000 2000 4000 8000	87 82 85 90 93 93 94	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 27.67 (71.33)	Orejeras tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 23.38 (75.62)	----	1:00 horas
Registro # 39 N° Del sitio o equipo Lado poniente. De bomba PM-5D (98.00)	PC-8 125 250 500 1000 2000 4000 8000	87 83 83 84 87 96 94	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 28.80 (69.20)	Orejeras tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 23.36 (74.64)	----	1:15 horas

CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN DEL PROTECTOR AUDITIVO PERSONAL CON EL QUE CUENTA EL CENTRO DE TRABAJO

Cálculo del factor de reducción "R" en dB (A) y el nivel sonoro real expuesto a los trabajadores a partir de la atenuación de la presión acústica por octavas de bandas, de los equipos de protección personal auditiva, suministrados en una planta de absorción

Registro de estudio 1 fecha de estudio

Sitio o equipo donde se realizó la medición	Análisis de frecuencia por banda de octava		ATENUACIÓN DEL EQUIPO DE PROTECCIÓN AUDITIVA dB (A)			Máximo tiempo de exposición permisible continuo de trabajo por turno de 8 hs. Sin equipo de protección auditiva
	Nivel de presión Sonora dB (A)	Hz	DB (A)	NIVEL SONORO REAL DE EXPOSICIÓN dB (A)		
Registro # 41 N° Del sitio o equipo	PT-2B					
	125	83	Tapón auditivo ultrafit E-A-R	Orejas tipo copa Marca E-A-R modelo 1000	----	4:00 horas
	250	81				
Pasillo central lado oriente de bomba PT-2B	500	81				
	1000	82				
	2000	86				
	4000	88				
(93.00)	8000	89	28.17	22.40		
			(64.83)	(70.60)		
Registro # 42 N° Del sitio o equipo	PT-2B					
	125	84	Tapón auditivo ultrafit E-A-R	Orejas tipo copa Marca E-A-R modelo 1000	----	2:40 horas
	250	80				
Lado sur de la bomba PT-2B	500	83				
	1000	83				
	2000	87				
	4000	91				
(95.00)	8000	89	28.59	23.57		
			(66.41)	(71.43)		
Registro # 43 N° Del sitio o equipo	PT-2A					
	125	83	Tapón auditivo ultrafit E-A-R	Orejas tipo copa Marca E-A-R modelo 1000	----	2.00 horas
	250	84				
Lado Poniente. de bomba PT-2A	500	86				
	1000	85				
	2000	87				
	4000	87				
(96.00)	8000	91	30.12	22.95		
			(65.88)	(73.05)		
Registro # 44 N° Del sitio o equipo	PT-2A					
	125	82	Tapón auditivo ultrafit E-A-R	Orejas tipo copa Marca E-A-R modelo 1000	----	1.35 horas
	250	82				
Lado sur de la bomba PT-2A	500	82				
	1000	85				
	2000	88				
	4000	92				
(97.00)	8000	92	29.42	24.18		
			(67.58)	(72.82)		

**CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN DEL PROTECTOR AUDITIVO PERSONAL CON EL QUE
CUENTA EL CENTRO DE TRABAJO**

Cálculo del factor de reducción "R" en dB (A) y el nivel sonoro real expuesto a los trabajadores a partir de la atenuación de la presión acústica por octavas de bandas, de los equipos de protección personal auditiva, suministrados en una planta de absorción

Registro de estudio 1 fecha de estudio

Sitio o equipo donde se realizo la medición	Análisis de frecuencia por banda de octava		ATENUACIÓN DEL EQUIPO DE PROTECCIÓN AUDITIVA dB (A)			Máximo tiempo de exposición permisible continuo de trabajo por turno de 8 hs. Sin equipo de protección auditiva
	Nivel de presión Sonora dB (A)	Hz	DB (A)	NIVEL SONORO REAL DE EXPOSICIÓN dB (A)		
Registro # 45 N° Del sitio o equipo Lado sur de la bomba PT- 2C (95.00)	PT-2C 125 250 500 1000 2000 4000 8000	83 80 80 81 87 91 90	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 28.74 (66.26)	Orejeras tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 23.88 (71.12)	----	2.40 horas
Registro # 47 N° Del sitio o equipo Pasillo central lado Oriente de bomba PT- 53B (91.00)	PT-53B 125 250 500 1000 2000 4000 8000	84 81 77 77 79 82 86	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 32.10 (58.90)	Orejeras tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 23.01 (67.99)	----	6:15 horas
Registro # 48 N° Del sitio o equipo Calentador de aceite rico lado poniente (115.00)	H-B1 125 250 500 1000 2000 4000 8000	94 103 97 101 107 110 109	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 29.16 (85.84)	Orejeras tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 24.37 (90.63)	----	10 minutos
Registro # 49 N° Del sitio o equipo Calentador de aceite rico, lado norte (114.00)	H-1B 125 250 500 1000 2000 4000 8000	92 100 95 99 106 109 109	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 29.18 (84.82)	Orejeras tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 24.51 (89.49)	----	10 minutos

**CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN DEL PROTECTOR AUDITIVO PERSONAL CON EL QUE
CUENTA EL CENTRO DE TRABAJO**

Cálculo del factor de reducción "R" en dB (A) y el nivel sonoro real expuesto a los trabajadores a partir de la atenuación de la presión acústica por octavas de bandas, de los equipos de protección personal auditiva, suministrados en una planta de absorción

Registro de estudio 1 fecha de estudio

Sitio o equipo donde se realizó la medición	Análisis de frecuencia por banda de octava		ATENUACIÓN DEL EQUIPO DE PROTECCIÓN AUDITIVA dB (A)			Máximo tiempo de exposición permisible continuo de trabajo por turno de 8 hs. Sin equipo de protección auditiva
	Hz	DB (A)	NIVEL SONORO REAL DE EXPOSICIÓN dB (A)			
Registro # 50 N° Del sitio o equipo Calentados de aceite rico lado oriente (115.00)	H-1B 125 250 500 1000 2000 4000 8000	93 103 97 102 107 110 109	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 29.08 (85.92)	Orejeras tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 24.32 (90.68)	----	10 minutos
Registro # 51 N° Del sitio o equipo Calentador de aceite rico. lado sur (114.00)	H-1B 125 250 500 1000 2000 4000 8000	93 103 97 101 107 111 110	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 27.75 (86.25)	Orejeras tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 22.89 91.11)	----	10 minutos
Registro # 52 N° Del sitio o equipo Caseta de operadores con la puerta cerrada (97.00)	H-1B 125 250 500 1000 2000 4000 8000	77 79 75 84 90 93 91	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 28.25 (68.75)	Orejeras tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 24.97 (72.03)	----	1:35 horas
Registro # 53 N° Del sitio o equipo Tablero de campo en el área norte de calentadores H-1A/B/C (106.00)	H-1B 125 250 500 1000 2000 4000 8000	90 90 92 97 101 99 98	Tapón auditivo ultrafit E-A-R 27.26 (78.74)	Orejeras tipo copa Marca E-A-R modelo 1000 24.08 (81.92)	----	14 minutos

**CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN DEL PROTECTOR AUDITIVO PERSONAL PROPUESTO
POR EL EQUIPO DE MEDICIÓN EN EL LEVANTAMIENTO DEL ESTUDIO DE RUIDO**

Cálculo del factor de reducción "R" en dB (A) y el nivel sonoro real expuesto a los trabajadores a partir de la atenuación de la presión acústica por octavas de bandas, de los equipos de protección personal auditiva, suministrados en una planta de absorción

Registro de estudio 1 fecha de estudio

							Fecha del proceso
							Hora del proceso
							Informe
							México d. F.
Sitio o equipo donde se realizó la medición	Análisis de frecuencia por banda de octavas		Atenuación del equipo de protección auditiva dB (A)			Máximo tiempo de exposición permisible continuo de trabajo por turno de 8 horas, sin equipo de protección auditiva	
	Hertz	dB (A)	(nivel sonoro real de exposición dB (A))				
Planta absorción							
Registro # 9 N° del sitio o equipo	C5-A		Tapón E-A-R auto ajustables	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 23.06	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530	4:00 horas	
pasillo exterior lado Poniente casa	125	88					
compresores de refrigeración	250	84					
	500	82					
	1000	85					
	2000	92					
	4000	94					
(93.00)	8000	82	29.74 (63.26)	(66.94)	24.26 (68.74)		
Registro # 10 N° del sitio o equipo	C5-B		Tapón E-A-R auto ajustables	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530	8:00 horas	
pasillo exterior lado sur oriente casa de	125	87					
compresores de refrigeración	250	81					
	500	81					
	1000	83					
	2000	86					
	4000	82					
(90.00)	8000	79	26.24 (63.76)	20.53 (69.47)	23.38 (66.62)		
Registro # 16 N° del sitio o equipo	C5-B		Tapón E-A-R auto ajustables	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530	1:35 horas	
pasillo interior lado norte compresores de refrigeración	125	85					
	250	82					
	500	85					
	1000	90					
	2000	93					
	4000	88					
(97.00)	8000	84	31.74 (65.26)	28.28 (68.72)	29.05 (67.95)		

**CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN DEL PROTECTOR AUDITIVO PERSONAL PROPUESTO
POR EL EQUIPO DE MEDICIÓN EN EL LEVANTAMIENTO DEL ESTUDIO DE RUIDO**

Cálculo del factor de reducción "R" en dB (A) y el nivel sonoro real expuesto a los trabajadores a partir de la atenuación de la presión acústica por octavas de bandas, de los equipos de protección personal auditiva, suministrados en una planta de absorción

Registro de estudio 1 fecha de estudio

Sitio o equipo donde se realizó la medición	Análisis de frecuencia por banda de octavas		Atenuación del equipo de protección auditiva dB (A)			Máximo tiempo de exposición permisible continuo de trabajo por turno de 8 horas, sin equipo de protección auditiva
	Hertz	DB (A)	(nivel sonoro real de exposición dB (A))			
Registro # 17 N° del sitio o equipo pasillo interior lado oriente del compresores de refrigeración (95.00)	C5-B 125 250 500 1000 2000 4000 8000	102 86 90 88 93 88 83	Tapón E-A-R auto ajustables 27.72 (67.28)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 15.62 (79.38)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 15.71 (79.29)	2:40 horas
Registro # 18 N° del sitio o equipo pasillo interior lado oriente del compresores de refrigeración (99.00)	C5-B 125 250 500 1000 2000 4000 8000	100 87 90 93 96 90 85	Tapón E-A-R auto ajustables 30.01 (68.69)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 21.05 (77.95)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 21.22 (77.78)	1:00 horas
Registro # 19 N° del sitio o equipo pasillo interior lado Poniente del compresor de refrigeración (98.00)	C5-B 125 250 500 1000 2000 4000 8000	91 88 87 91 96 89 87	Tapón E-A-R auto ajustables 30.34 (67.66)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 25.05 (72.75)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 25.53 (72.47)	1:15 horas

**CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN DEL PROTECTOR AUDITIVO PERSONAL PROPUESTO
POR EL EQUIPO DE MEDICIÓN EN EL LEVANTAMIENTO DEL ESTUDIO DE RUIDO**

Cálculo del factor de reducción "R" en dB (A) y el nivel sonoro real expuesto a los trabajadores a partir de la atenuación de la presión acústica por octavas de bandas, de los equipos de protección personal auditiva, suministrados en una planta de absorción

Registro de estudio 1 fecha de estudio

Sitio o equipo donde se realizó la medición	Análisis de frecuencia por banda de octavas		Atenuación del equipo de protección auditiva dB (A)			Máximo tiempo de exposición permisible continuo de trabajo por turno de 8 horas, sin equipo de protección auditiva
	Hertz	dB (A)	(nivel sonoro real de exposición dB (A))			
Registro # 29 N° del sitio o equipo turbo-bomba de aceite, pobre lado oriente. (91.00)	PT-1A 125 250 500 1000 2000 4000 8000	87 82 85 86 87 86 80	Tapón E-A-R auto ajustables 29.63 (61.37)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 23.01 (67.99)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 23.41 (67.59)	6:15 horas
Registro # 30 N° del sitio o equipo Turbo-bomba de aceite pobre, lado norte (92.00)	PT-1A 125 250 500 1000 2000 4000 8000	90 82 85 85 86 84 88	Tapón E-A-R auto ajustables 30.62 (61.38)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 21.81 (70.19)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 22.52 (69.48)	5:00 horas
Registro # 31 N° del sitio o equipo turbo bomba de aceite pobre, lado poniente. (94.00)	PT-1A 125 250 500 1000 2000 4000 8000	85 89 84 86 87 88 90	Tapón E-A-R auto ajustables 31.17 (62.83)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 22.15 (71.85)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 22.86 (71.14)	3:15 horas
Registro # 32 N° del sitio o equipo turbo - bomba de aceite pobre, lado sur (94.00)	PT-1A 125 250 500 1000 2000 4000 8000	88 87 84 90 89 86 85	Tapón E-A-R auto ajustables 30.30 (63.70)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 23.37 (70.63)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 23.73 (70.27)	3:15 horas

**CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN DEL PROTECTOR AUDITIVO PERSONAL PROPUESTO
POR EL EQUIPO DE MEDICIÓN EN EL LEVANTAMIENTO DEL ESTUDIO DE RUIDO**

Cálculo del factor de reducción "R" en dB (A) y el nivel sonoro real expuesto a los trabajadores a partir de la atenuación de la presión acústica por octavas de bandas, de los equipos de protección personal auditiva, suministrados en una planta de absorción

Registro de estudio 1 fecha de estudio

Sitio o equipo donde se realizó la medición	Análisis de frecuencia por banda de octavas		Atenuación del equipo de protección auditiva dB (A)			Máximo tiempo de exposición permisible continuo de trabajo por turno de 8 horas, sin equipo de protección auditiva
	Hertz	dB (A)	(nivel sonoro real de exposición dB (A))			
Registro # 33 N° del sitio o equipo frente al tablero de las bombas PT-1A y PT-1A (91.00)	PT-1A 125 250 500 1000 2000 4000 8000	86 89 82 83 87 86 85	Tapón E-A-R auto ajustables 29.70 (61.30)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 19.95 (71.05)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 20.26 (70.74)	6:15 horas
Registro # 35 N° del sitio o equipo frente a las bombas PM-31A/B lado oriente. (92.00)	Pas cent. 125 250 500 1000 2000 4000 8000	86 81 85 85 86 86 86	Tapón E-A-R auto ajustables 30.93 (61.07)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 23.93 (68.07)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 24.77 (67.23)	5:00horas
Registro # 36 N° del sitio o equipo pasillo central frente a bomba PT-5C lado ote. (96.00)	Pas-cent. 125 250 500 1000 2000 4000 8000	86 84 90 89 89 90 90	Tapón E-A-R auto ajustables 31.07 (64.93)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 24.82 (71.18)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 25.91 (70.09)	2:00 horas

**CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN DEL PROTECTOR AUDITIVO PERSONAL PROPUESTO
POR EL EQUIPO DE MEDICIÓN EN EL LEVANTAMIENTO DEL ESTUDIO DE RUIDO**

Cálculo del factor de reducción "R" en dB (A) y el nivel sonoro real expuesto a los trabajadores a partir de la atenuación de la presión acústica por octavas de bandas, de los equipos de protección personal auditiva, suministrados en una planta de absorción

Registro de estudio 1 fecha de estudio

Sitio o equipo donde se realizó la medición	Análisis de frecuencia por banda de octavas		Atenuación del equipo de protección auditiva dB (A)			Máximo tiempo de exposición permisible continuo de trabajo por turno de 8 horas, sin equipo de protección auditiva
	Hertz	dB (A)	(nivel sonoro real de exposición dB (A))			
Registro # 37 N° del sitio o equipo Moto-bomba de gasolina lado norte (99.00)	PM-5D 125 250 500 1000 2000 4000 8000	84 81 86 87 90 93 95	Tapón E-A-R auto ajustables 33.47 (65.53)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 26.68 (72.32)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 28.97 (70.03)	1:00 horas
Registro # 38 N° del sitio o equipo Moto-bomba de gasolina lado poniente. (99.00)	M-5D 125 250 500 1000 2000 4000 8000	87 82 85 90 93 93 94	Tapón E-A-R auto ajustables 32.31 (66.69)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 26.71 (72.29)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 28.55 (70.45)	1:00 horas
Registro # 39 N° del sitio o equipo Lado poniente de bomba PM-5D (98.00)	PC-8 125 250 500 1000 2000 4000 8000	87 83 83 84 87 96 94	Tapón E-A-R auto ajustables 32.70 (65.30)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 25.95 (72.05)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 27.80 (70.20)	1:15 horas

**CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN DEL PROTECTOR AUDITIVO PERSONAL PROPUESTO
POR EL EQUIPO DE MEDICIÓN EN EL LEVANTAMIENTO DEL ESTUDIO DE RUIDO**

Cálculo del factor de reducción "R" en dB (A) y el nivel sonoro real expuesto a los trabajadores a partir de la atenuación de la presión acústica por octavas de bandas, de los equipos de protección personal auditiva, suministrados en una planta de absorción

Registro de estudio 1 fecha de estudio

Sitio o equipo donde se realizó la medición	Análisis de frecuencia por banda de octavas		Atenuación del equipo de protección auditiva dB (A)			Máximo tiempo de exposición permisible continuo de trabajo por turno de 8 horas, sin equipo de protección auditiva
	Hertz	dB (A)	(nivel sonoro real de exposición dB (A))			
Registro # 41 N° del sitio o equipo pasillo central lado oriente de bomba PT-2B (93.00)	PT-2B 125 250 500 1000 2000 4000 8000	83 81 81 82 86 88 89	Tapón E-A-R auto ajustables 32.29 (60.71)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 25.07 (67.93)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 26.57 (66.43)	4:00 horas
Registro # 42 N° del sitio o equipo Lado sur de la bomba PT-2B (95.00)	PT-B. 125 250 500 1000 2000 4000 8000	84 80 83 83 87 91 89	Tapón E-A-R auto ajustables 32.92 (62.08)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 26.72 (68.28)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 28.19 (66.81)	2:40 horas
Registro # 43 N° del sitio o equipo Lado poniente de bomba PT-2A (96.00)	PT-2A 125 250 500 1000 2000 4000 8000	83 84 86 85 87 87 91	Tapón E-A-R auto ajustables 33.49 (62.51)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 25.85 (70.15)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 27.31 (68.69)	2:00 horas
Registro # 44 N° del sitio o equipo Lado sur de la bomba PT-2A (97.00)	PT-2A. 125 250 500 1000 2000 4000 8000	82 82 82 85 88 92 92	Tapón E-A-R auto ajustables 33.56 (63.44)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 27.06 (69.94)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 28.98 (68.02)	1:35 horas

**CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN DEL PROTECTOR AUDITIVO PERSONAL PROPUESTO
POR EL EQUIPO DE MEDICIÓN EN EL LEVANTAMIENTO DEL ESTUDIO DE RUIDO**

Cálculo del factor de reducción "R" en dB (A) y el nivel sonoro real expuesto a los trabajadores a partir de la atenuación de la presión acústica por octavas de bandas, de los equipos de protección personal auditiva, suministrados en una planta de absorción

Registro de estudio: 1 fecha de estudio

Sitio o equipo donde se realizó la medición	Análisis de frecuencia por banda de octavas		Atenuación del equipo de protección auditiva dB (A)			Máximo tiempo de exposición permisible continuo de trabajo por turno de 8 horas, sin equipo de protección auditiva
	Hertz	dB (A)	(nivel sonoro real de exposición dB (A))			
Registro # 45 N° del sitio o equipo Lado sur de la bomba PT-2C (95.00)	PT-2C 125 250 500 1000 2000 4000 8000	83 80 80 81 87 91 90	Tapón E-A-R auto ajustables 33.16 (61.84)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 62.65 (68.35)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 28.42 (66.58)	2:40 horas
Registro # 47 N° del sitio o equipo pasillo central lado Poniente. de bomba PT-53B (91.00)	PT-53B. 125 250 500 1000 2000 4000 8000	84 81 77 77 79 82 86	Tapón E-A-R auto ajustables 34.73 (56.27)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 24.66 (66.34)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 25.63 (65.37)	6:15 horas
Registro # 48 sitio o equipo calentador de aceite rico lado poniente (115.00)	H-1B 125 250 500 1000 2000 4000 8000	94 103 97 101 107 110 109	Tapón E-A-R auto ajustables 33.75 (81.25)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 27.17 (87.83)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 28.72 (86.28)	10 minutos
Registro # 49 N° del sitio o equipo calentador de aceite rico lado norte. (114.00)	H-1B 125 250 500 1000 2000 4000 8000	92 100 95 99 106 109 109	Tapón E-A-R auto ajustables 33.73 (80.27)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 27.25 (86.75)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 29.29 (84.71)	10 minutos

**CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN DEL PROTECTOR AUDITIVO PERSONAL PROPUESTO
POR EL EQUIPO DE MEDICIÓN EN EL LEVANTAMIENTO DEL ESTUDIO DE RUIDO**

Calcúlo del factor de reducción "R" en dB (A) y el nivel sonoro real expuesto a los trabajadores a partir de la atenuación de la presión acústica por octavas de bandas, de los equipos de protección personal auditiva, suministrados en una planta de absorción

Registro de estudio 1 fecha de estudio

Sitio o equipo donde se realizó la medición	Análisis de frecuencia por banda de octavas		Atenuación del equipo de protección auditiva dB (A)			Máximo tiempo de exposición permisible continuo de trabajo por turno de 8 horas, sin equipo de protección auditiva
	Hertz	dB (A)	(nivel sonoro real de exposición dB (A))			
Registro # 50 N° del sitio o equipo calentador de aceite rico lado oriente (115.00)	H-1B 125 250 500 1000 2000 4000 8000	93 103 97 102 107 110 109	Tapón E-A-R auto ajustables 33.66 (81.34)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 27.18 (87.82)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 28.73 (86.64)	10 minutos
Registro # 51 N° del sitio o equipo calentador de aceite rico lado sur (114.00)	H-1B. 125 250 500 1000 2000 4000 8000	93 103 97 101 107 111 110	Tapón E-A-R auto ajustables 32.23 (81.77)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 25.64 (88.36)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 27.36 (86.64)	10 minutos
Registro # 52 N° del sitio o equipo caseta de operadores con la puerta cerrada (97.00)	H-1B. 125 250 500 1000 2000 4000 8000	77 79 75 84 90 93 91	Tapón E-A-R auto ajustables 33.23 (63.77)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 28.39 (68.61)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 31.64 (66.36)	1:35 horas
Registro # 53 N° del sitio o equipo tablero de campo en el área norte de calentadores H-1A/B/C. (106.00)	H-1B. 125 250 500 1000 2000 4000 8000	90 90 92 97 101 99 98	Tapón E-A-R auto ajustables 32.45 (73.55)	Protector auditivo tipo copa MSA MARK-IV-MC 28.32 (77.68)	Protector auditivo tipo copa MCA. WELSH modelo 4530 29.84 (76.16)	14 minutos

10.6. DOSIMETRIA

Se realizaron los cálculos de la dosimetría aplicada a las categorías seleccionadas donde se determinó el nivel sonoro continuo equivalente a los que están expuesto los trabajadores durante la jornada de labores, así mismo se determinó de acuerdo a la gráfica número 1 de la NOM-011-STPS-1993, el tiempo máximo permisible de exposición en las áreas específicas para cada categoría seleccionada sin usar el equipo de protección auditivo personal.

Los resultados obtenidos durante la dosimetría aplicada a las categorías seleccionadas con niveles sonoros por encima de los 90 dB, en el se muestran los resultados tomando en cuenta el tiempo que dura la jornada de trabajo que es de 8 horas, el nivel de ruido con el tiempo máximo de permanencia sin el uso de los protectores auditivos personales y, el nivel de ruido con el uso del protector auditivo, los resultados se muestran en la siguiente tabla.

**CÁLCULO DE LA DOSIMETRÍA APLICADA A LAS CATEGORÍAS SELECCIONADAS
ARRIBA DE 90 dB.**

Turno I				
Categoría	Tiempo de prueba	NCSE dB (A) sin equipo protección Personal	NSCE dB (A) con equipo protección Personal	Tiempo máximo permitido sin equipo protección. Auditivo Hr.
Operador Especialista Destilados	08:45:54	92.8	58.07	04:00
Operador Condensados	08:00:00	93.2	63.57	03:50
Fogonero	08:00:00	101.3	67.55	00:40
Operador Especialista Compresores	08:00:00	92.8	61.06	04:00
Operador Compresores.	08:00:00	97.3	65.58	01:30
Turno II				
Operador Especialista Destilados	07:31:05	94.4	59.67	02:45
Operador Condensado	07:22:08	98.0	68.37	01:15
Fogonero	07:33:19	105.9	72.15	00:15
Operador Especialista Compresores	07:28:18	99.1	67.36	00:45
Operador Compresores	07:10:34	95.1	67.38	02:30
Turno III				
Operador Especialista Destilados	08:31:17	100.2	65.47	00:47
Operador Condensado	07:20:42	93.5	63.87	03:37
Fogonero	07:12:18	97.4	63.65	N/R
Operador Especialista Compresores.	07:29:33	97.7	65.96	01:25
Operador Compresores.	08:01:15	115.6	N/R	00:10

10.7. OBSERVACIONES

Durante la toma de datos en las áreas de la planta de absorción, ésta se encontraba operando con una carga de gas proveniente de campos, 142 millones de pies cúbicos, con una producción de gas seco (gas residual) de 125 millones de pies cúbicos.

La planta tiene básicamente tres áreas con altos niveles de ruido que son: casa de compresoras de refrigeración, baterías de bombas en pasillo de oriente – poniente y en los calentadores de aceite rico H-1A, B, C. Detectándose las principales causas y condiciones que propician la existencia de altos niveles de ruido en esas áreas las cuales se enumeran a continuación:

1. Casa de compresoras de refrigeración:

- a. En el trayecto de las líneas de succión y descarga el cual operaba en ese momento el compresor C5-B, estos valores se acentúan con mayor intensidad en la zona de unión de la brida con la junta de expansión, dándonos valores de hasta 118 dB (A). En la línea de vapor exhausto. También se presentan este fenómeno en el codo de la línea de succión lateral del compresor, dándonos valores de 118 dB (A), así como en el venteo superior de la misma línea con valores de 104 dB (A).
- b. En la casa de compresoras se presenta un fenómeno de resonancia, debido al tipo de pared con que cuenta este lugar, las cuales son de material asbesto.

2. Batería de bombas pasillo oriente-poniente:

- a. En esta área las causas principales son debidas al ruido supersónico y dinámico generado en los tramos largos y en los cambios de dirección de la línea de vapor de 600 lb/pulg² respectivamente, que representa valores de 95 a 101 dB (A).
- b. Purgas a la atmósfera, son tubos de ½ pulgadas proveniente de los sellos las turbinas. Presentando valores hasta de 107 dB (A). aproximadamente en un diámetro de dos metros alrededor de la salida de la línea.
- c. En esta zona se encuentra confinado el ruido, debido al techo existente que no permite su disipación hacia arriba, el cual disminuiría considerablemente de no existir éste.
- d. Como se puede ver en los valores presentados en las curvas isosónicas, existen valores comprendidos de 103 – 118 dB (A), que se manifiestan en las distintas chumaceras de las bombas de toda esta área.

- e. En la succión de aire del motor eléctrico de la bomba PM-5D, presenta niveles de 112 dB (A), debido a que el flujo del aire succionado es perpendicular a las aspas del ventilador.
3. Área de los calentadores de aceite rico H-1A, B, C:
 - a. En esta área es donde se encontró operando solo el calentador H-1B, se presentan valores de 115 dB (A), esto es alrededor del equipo en el cual llega a tener una influencia en el área hasta una distancia de 25 metros. La principal fuente generadora de ruido son quemadores del mencionado calentador.

4. Dosimetría:

Los valores de la dosis de ruido recibida por los trabajadores seleccionados en todos los casos rebasa los 90 dB (A) pero como lo demuestra los resultados al tomar en cuenta la atenuación proporcionada por los equipos de protección auditiva personal, no sobrepasan valores de 72 dB (A).

10.8. RECOMENDACIONES

Con el fin de disminuir y proteger a los trabajadores contra el ruido existente en el área es necesario desarrollar la ingeniería con la alternativa más conveniente, de las que se numeran a continuación:

1. Aislar con material sonoamortiguador las líneas de succión lateral y de vapor exhausto del compresor C5-5 similar al diseño en la figura 8.8.1.
2. Modificar las paredes de la casa de compresoras:
 - A. Cambiar el tipo de material de la pared por otro de características sonó amortiguadoras.
 - B. Colocar en las paredes existentes paneles, de material que absorba la presión sonora y evite la reverberación en el interior de la casa de compresoras y paralelamente colocar paredes inclinadas o tipo persianas para la dispersión del ruido al exterior y en dirección hacia el suelo.
 - C. Construir una caseta de operadores con material sonó amortiguador, del material de la figura 8.8.1.
 - D. Colocar el en techo paneles de material absorbente de ruido.
 - E. Colocar barreras acústicas desarmables alrededor de los compresores.

BATERIA DE BOMBAS PASILLO ORIENTE-PONIENTE

1. Eliminar techo de láminas existentes en esta área.
2. Aislar acústicamente la línea de vapor 600 lb/ pulg² con material sonó-amortiguador igual al de la figura 8.8.1.
3. Conectar las purgas a la atmósfera a un cabezal y aislar acústicamente las líneas.
4. Si se requieren tener a la atmósfera, es necesario colocarse un silenciador en cada salida.
5. Verificar en las chumaceras de los equipos, la anomalía mecánica por la cual generan altos niveles de ruido.

CALENTADOR DE ACEITE RICO H-1A, B, C

1. Cambiar el tipo de quemador, por unos que tengan un sistema de laberintos.
2. Aislar con paredes sonoamortiguadoras, (no hasta nivel de piso, cuidando la caída de presión y flujo) alrededor de los calentadores.
3. Acondicionar la caseta de los operadores, para darle características sonoamortiguadoras.

10.9. RECOMENDACIONES GENERALES

1. Dar cumplimiento a lo establecido en la NOM-011-STPS-1993, en lo referente a la obligación de los trabajadores de usar el equipo de protección personal auditivo en los lugares en donde presentan niveles elevados de ruido y, a la obligación que tiene el patrón de proporcionar los protectores auditivos.
2. Debido a las características del ruido generado en la planta se determinó el tipo de equipo de protección personal auditivo que existe en el mercado, más eficiente, de lo cual se recomienda, los tapones E-A-R AUTO-AJUSTABLES, PROTECTORES AUDITIVOS TIPO COPA MSA MARK-IV-MC Y PROTECTOR AUDITIVO TIPO COPA MCA WELSH MODELO 4530. el cual en todas las áreas nos dan niveles reales de exposición debajo de 70 dB (A). Excepto en el área de calentadores que nos da niveles entre 70 y 90 dB (A).

10.10. CONCLUSIONES

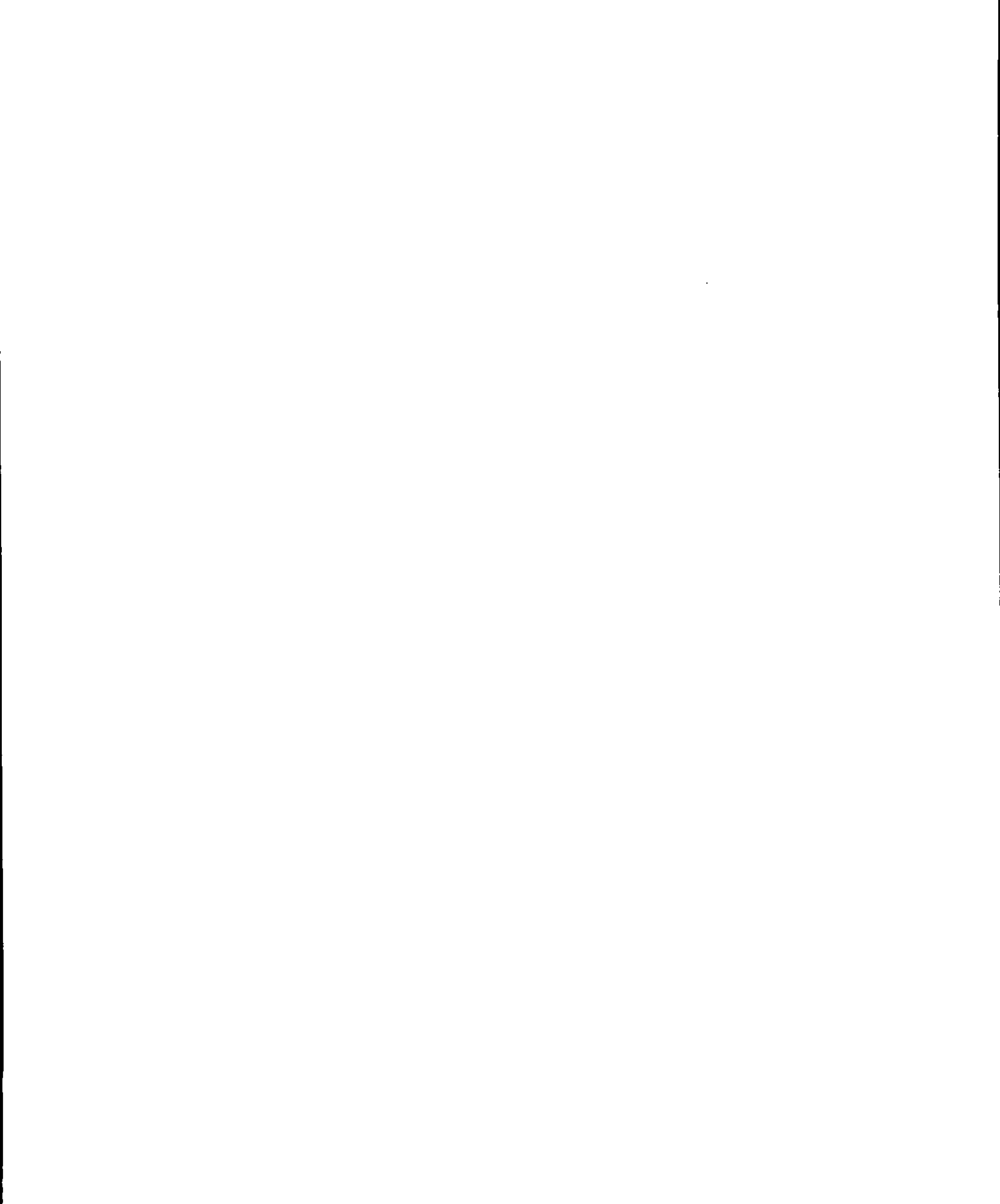
El objetivo principal fue presentar los efectos y repercusiones que tiene el contaminante físico ruido en el individuo, así como su comportamiento y características físicas esto a través de un trabajo de investigación bibliográfica por medio de estudios realizados por expertos en salud ocupacional y de los tomados directamente al realizar el estudio de ruido en el campo laboral se determinó que tiene repercusiones tanto en la integridad física como psicológica y social en el individuo.

Así mismo se pudo llevar a lo tangible el comportamiento del ruido como quedó demostrado en la física en sus distintas formas y modos de presentarse, para lo cual se llevó a una evaluación especialmente en el medio laboral donde se determinaron las fuentes generadoras de ruido que al estar expuesto por periodos grandes de tiempo representan riesgos para la audición así como sus características y sus límites de afectación, con esto se logro localizar y cuantificar los valores más críticos, los cuales fueron; la entrada de ventilador con motor eléctrico, PT-3A, purgas de turbina turbo-bomba PT-53B, compresor de refrigeración C5-B, calentadores de aceite.

Se analizaron los protectores auditivos con los que cuenta el centro de trabajo, se determino su eficiencia en las distintas áreas estudiadas de acuerdo a las características del ruido que prevalecen donde se pudo determinar una desviación de su eficiencia de efectividad de atenuación en las frecuencias que influyen drásticamente en el NSCE resultante para lo que se aplicó el cálculo para otros tres protectores auditivos, los cuales atenuaron de acuerdo a las frecuencias que son audibles, resultando el tapón auto ajustable el más favorable para las áreas estudiadas.

Este estudio sienta las bases para el desarrollo de la tecnología tanto teóricas como practicas para controlar disminuir o eliminar el ruido, ya que nos permite determinar la magnitud y características del ruido que se esta generando en sus distintas áreas así como su origen con exactitud, asimismo se tienen las bases para determinar el tipo de aislamiento requerido basándose en las condiciones existentes y la capacidad de los materiales para la absorción del ruido

De la misma manera podemos afirmar en base a investigaciones bibliográficas los efectos que trae consigo la exposición a ruido en el humano tanto emocional y físicamente ya sea por exposición durante mucho tiempo a NSCE por arriba de los límites aceptables sin producir efecto alguno.



Reviews →

11 SÍMBOLOS EMPLEADOS

α	Angulo; grado de absorción del sonido; índice de amortiguación en el espacio
β	Compresibilidad índice de amortiguamiento en el tiempo
χ	Relación de calores específicos C_p / C_v
A	Superficie de absorción, constante de amplitud
B	Rigidez a la flexión
f	Frecuencia.
ω	Frecuencia del circuito
ϵ	Cuantía de relajación
η	Tenacidad factor de pérdida
λ	Longitud de onda.
P	Presión alterna del sonido; presión
T	Tiempo total de medición
ρ	Densidad calidad
σ	Índice de contracción
γ	Constante de muelle; número de onda
τ	Tiempo de relajación; duración de la vibración
ω	Velocidad del sonido; velocidad de vibración
ρ'	Densidad de cambio
η_0	Factor de perdida de la frecuencia
ρ_0	Densidad en reposo
a	Distancia desde el plano neutro de flexión; longitud; amplitud
b	Grosor de placa; espesor de placa; longitud
C	Capacidad, constante
c	Velocidad del sonido; rigidez del muelle
C_0	Velocidad del sonido; valor limite a frecuencias bajas
c_∞	Velocidad del sonido; valor limite a frecuencias altas
d	Factor de paso; espesor de capa; longitud
D	Diferencia del nivel sonoro.
E	Modulo de elasticidad
f_0	Frecuencia propia
G	Modulo de empuje; ganancia, carga
h	Grosor de placa; espesor de capa; longitud
i	Intensidad de corriente; radio de inercia
I, J	Momento de inercia de una superficie; grado de eficacia aislante; intensidad
j	$\sqrt{-1}$.
K	Modulo de compresión; fuerza; factor de acoplamiento
k	Número de onda; factor de impulsión
L	Nivel sonoro; inductividad
L_n	Nivel de ruido de la pisada normalizado
LSM	Índice de protección contra en ruido del aire
M	Masa; peso por unidad de superficie
N	Potencia sonora; potencia; número

N_0	Potencia sonora en el umbral de audición
p	presión alterna del sonido.
p	Presión alterna del sonido
p_0	Presión alterna del sonido en el umbral de audición; presión atmosférica o presión hidrostática
r	factor de reflexión; radio vector
R	Resistencia eléctrica; resistencia de la corriente; radio del sonido; índice de aislamiento del sonido
S	Superficie; sección transversal; sensibilidad de emisión;
s	Segundos
t	Tiempo; temperatura
T	Tiempo de reverberación; tiempo de atenuación
T_{sab}	Tiempo de reverberación según la fórmula de Sabine
TSM	Índice de protección contra el ruido de la pisada
V	Volumen; disonancia
Δ	incremento
Z	Resistencia a las ondas; impedancia
θ	Angulo; momento de inercia
θ	Ángulo; momento de inercia
ϕ	Potencial de velocidad; flujo magnético

12 BIBLIOGRAFIA

1. Coord.. Ejec. De Servs. Generales y Seguridad Industrial "MANUAL PARA LA EVALUACIÓN Y CONTROL DE RUIDO" Gerencia de Seguridad Industrial PEMEX, México 1986.
2. Instituto Mexicano del seguro Social / Secretaría general Jefatura de Servicios del Secretariado Técnico / Centro de documentación. "LECTURAS EN MATERIA DE SEGURIDAD SOCIAL RUIDO INDUSTRIAL". Instituto Mexicano del Seguro Social; México 1985.
3. Werner Bürk. "MANUAL DE MEDIDAS ACUSTICAS PARA EL CONTROL DEL RUIDO. Editorial Blume; España 1969.
4. Robert Alex Barón " LA TIRANIA DEL RUIDO" Fondo de Cultura Económica; México 1973.
5. U. S. Department of labor "CONTROL DE LOS RIESGOS DE LOS RUIDOS" Regional de ayuda técnica; Barcelona 1964.
6. U. S. Department of health and human services, public health service, center for disease control. "THE INDUSTRIAL ENVIRONMENT ITS EVALUATION AND CONTROL". National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) 1973.
7. Oficina Internacional del trabajo "PROTECCIÓN DE LOS TRABAJADORES CONTRA EL RUIDO Y LAS VIBRACIONES EN LOS LUGARES DE TRABAJO" Ginebra 1972.
8. Kurtze, Gunter "FÍSICA Y TÉCNICA DE LA LUCHA CONTRA EL RUIDO" Bilbao Urmo; España 1972.
9. David J. Osborne, "ERGONOMIA EN ACCION LA ADAPTACIÓN DEL MEDIO DE TRABAJO AL HOMBRE" Trillas; México 1994.
10. Coordinación de Investigación Científica "TEMAS AMBIENTALES CIUDAD DE MÉXICO" ; UNAM 1995.
11. Ernest J. McCormick. "ERGONOMIA" Editorial Gustavo Gili. S. A. Barcelona 1980.
12. Dr. Hernando Rendiles "EFECTOS DEL RUIDO INDUSTRIAL" Gerencia de Salud, Salud Ocupacional de Venezuela.
13. Artemio Baigorri, "APUNTES PARA UNA SOCIOLOGÍA DEL RUIDO" V Congreso Español de Sociología, grupo 30 sociología del medio ambiente, Granada 1995.
14. Secretaría del Trabajo y Previsión Social Norma Oficial Mexicana "NOM-011-STPS-1994"; Diario Oficial Miércoles 6 Julio de 1994.

15. Secretaría del Trabajo y Previsión Social Norma Oficial Mexicana "NOM-080-STPS-1994"; Diario Oficial Viernes 14 de Enero de 1994.
16. Instituto Nacional de Ecología NOM-081-ECOL-1984.
17. HIGIENE Y SEGURIDAD VOLUMEN XXI No 4 Abril 1981: "Desarrollo de un programa de conservación de la audición"; Ing. Luis miguel Covarrubias M.
18. "NOISE CONTROL ENGINEERING JOURNAL" The journal of institute of noise control engineering of the USA. Vol. 47,1999; Vol., 48. 2000
- "Suond transmisión loss of ligtweight double walls filled with polyurethane foam"; Antonio Uris, Francisco Cervera, and Jaime Llinares; Departamento de física aplicada, I. T. S. I. Telecomunicación, Universidad politrenica de Valencia, Camino de Vera, 14, 46022 Valencia Spain. 48 (1) 2000 jan feb.
 - "Installation effects on fan acoustic and aerodynamic performance"; Timithy A. Brungart, Ryan K. Ramanujam; Applied Research Laboratory, Penn State University U.S.A.; and Gerald C. Lauchle; Graduate Program in Acoustics and Applied Research Laboratory, Penn State University, U.S.A.. 47 (1) 1999 jan-feb.
 - "Method for estimation of frequency-dependent sound pressures at the pipe exterior of throttling valves"; Hans D. Baumann; Fisher Controls International, Inc U.S.A. and Heinfried Hoffmann; Samson A. G. , Frankfurt, Germany. 47 (1) 1999 jan-feb.
 - "case study: Acoustic attenuation performance of circular expansion chambers with extended end-inlet and side outlet"; A. Selamet and Z. L. Ji; Department of mechanical Engineering and the Center for Automotive Research, The Ohio State University, Columbus, U. S. A. 48 (2) 2000 March - April.
 - "Proposed revisions to room noise criteria"; Paul D. Schomer; U.S. Army ERDC, Construction Engineering Research Laboratory, P.O. U. S. A. 48 (3) 2000 may- jun.
 - "A test of proposed revisions to room noise criteria curves" Paul D. Schomer ; U.S. Army ERDC, Construction Engineering Research Laboratory, P.O. U. S. A. and John S. Bradley; National Research Council, Institute for Research in Construction Ottawa Ontorio. 48 (4) 2000 jul-aug.
 - "A propagation model based on Gaussian beams that accounts for wind and temperature inversions"; R. L. Bronson; Walt Disney Imagineering U.S.A. and H. Forschner; Navcon Engineering Network, U.S.A. 47 (5), 1999 sep- oct.
 - "Physiological cost of energy-equivalent exposures to white noise, industrial noise, heavy metal music, and classical musis. H.Strasser, H. Irlle and R. Scholz; Ergonomics Division University of Siegen Germany. 47 (5) 1999 sep-oct.
19. "ACTA ACUSTICA" acustica, Vol. 85,1999; Vol. 86. 2000.

- "loudness-Level Weighting for Environmental Noise Assessment" Paul D. Schomer; U.S. Army ERDC, Construction Engineering Research Laboratory, P.O. U. S. A. vol86 2000.
- "A Full-Size Physical Model of the Human Middle Ear"; H. Taschke, Ch. Weistenhofer, H. Hudde; Laboratory of Sound and Vibration Measurement, Institute of Communication Acoustics RUB-IKA, Germany vol 86 2000.
- "Divergence of Boat Noise Above Water Level in a Downwind direction"; E. A. Björk; Department of Environmental Science, University of Kuopio, Finland. Vol 86 2000
- "Calculation of Noise Barrier Performance in a Turbulent Atmosphere by Using Substitute Sources above the Barrier"; Jens Forssén; Department of Applied Acoustics, Chambers University of Technology, Sweden; vol. 86 2000.
- "Psychoacoustics and Industry: Instrumentation versus Experience?"; Markus Bodden; Ingenieurbüro Dr. Bodden, Herthastr. Germany; vol. 85 1999.
- "Psychoacoustics in Industry: Needs and Benefits"; Winfried Keiper; Corporate Research, Robert Bosch GmbH Germany; vol. 85 1999
- "On the Sound Field Requirements in the Hearing Protector Standard ISO 4869-1"; Niels Sogard Jensen, Torben Poulsen; Department of Acoustic Technology, Technical University of Denmark, vol85 1999.
- "Gearbox Noise: Description and Modeling of the Two Main Internal Acoustic Sources"; A. Sibé, J. Sabot; Laboratory de Tribologie et Dynamique des System, France. vol. 85 1999
- "Hearing Tests for Selection of Sonar Operators"; Ann-Catherine Lindblad, Björn Hagerman; Teknisk Audiologi, Karolinska Instituted, Sweden; vol 85 1999.