

1 e, 42

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

" EL RUIDO Y LA CONSTRUCCION "

T E S I S :

PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL.

P R E S E N T A :

FELIPP DE JESUS GARCIA R.

México D.F. Marzo de 1980.



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-160

Al Pasante señor FELIPE DE JESUS GARCIA RODRIGUEZ,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Jorge H. de Alba Castañeda, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

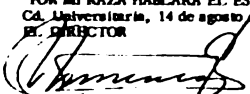
"EL RUIDO Y LA CONSTRUCCION"

- I. Generalidades sobre el sonido
- II. Atenuamiento del sonido
- III. Amortiguación del sonido
- IV. La protección de ruidos en la construcción
- V. Conclusiones

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 14 de agosto de 1979
EL DIRECTOR



DR. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

I N D I C E

	<u>PAGINA</u>
INTRODUCCION	1
<u>C A P I T U L O I</u>	
<u>GENERALIDADES SOBRE EL SONIDO</u>	
I.1 Cualidades del Sonido	2
I.2 Frecuencia	3
I.3 Longitud de Onda	4
I.4 Escala de Frecuencia	5
I.5 Intensidad	5
I.6 Escala de Intensidad	6
I.7 Escala de Decibeles	8
I.8 Velocidad del Sonido	9
I.9 Música, Voz y Ruido	9
I.10 Reflexión del Sonido	10
I.11 Difracción del Sonido	12
I.12 Absorción del Sonido	12
I.13 Efectos de la Reflexión Múltiple	13
I.14 Efectos del Ruido	14
a) Datos Históricos	16
b) Traumatismo Sonoro	17

C A P I T U L O I I

AISLAMIENTO DEL SONIDO

II.1	Generalidades	20
II.2	Aislamiento del Sonido Medido por Aire.	23
II.3	Paredes Sencillas	25
II.4	Placas "Sandwich"	29
II.5	Paredes Múltiples	34
II.6	Limitación del Aislamiento en la Transmisión del Sonido por Caminos Secundarios.	35
II.7	El Aislamiento del Sonido en Líquidos	36
II.8	Aislamiento del Ruido de las Pisadas	38
II.9	Aislamiento de Vibraciones	39

C A P I T U L O I I I

AMORTIGUACION DEL SONIDO

III.1	Sustancias Absorbentes del Sonido	41
III.2	Absorbentes Porosos	44
III.3	Medida del Grado de Absorción Sonora.	48
III.4	Amortiguamiento de Propagación	51
III.5	Amortiguación Clásica	51
III.6	Características que Debe Reunir un Material Absorbente de Sonido.	52

C A P I T U L O I V

LA PROTECCION DE RUIDOS EN LA CONSTRUCCION

IV.1	Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental Originada por la Emisión de Ruidos.	55
IV.1	a) Disposiciones Generales	55
IV.1	b) Emisión de Ruidos	58
IV.2	Focos de Ruidos	63
IV.3	Puntos de Vista Acústicos en la Planificación de Ciudades	65
IV.3	a) Localización del Edificio	68
IV.4	Focos Sonoros en los Edificios	70
IV.5	Planificación Técnico-Acústica en el Interior de Viviendas	74
IV.6	Factores que Determinan la Transmisión del Sonido a Través de Pisos y Muros	79
	a) Ruidos Causados por Impactos	80
	b) Efectos Causados por Aberturas	80
	c) Instalaciones Sanitarias	81
	d) Eliminación de Ruidos en Ductos de Ventilación.	82
	e) Muros Homogéneos y Muros no Homogéneos	83
	f) Páneles Divisorios	84
	g) Pisos y Muros de Mampostería	85
IV.7	La Protección del Ruido en la Operación Constructiva.	85
	CONCLUSIONES	88
	BIBLIOGRAFIA	90

I N T R O D U C C I O N

El mundo que nos rodea está lleno de sonido, sonido, sonido, pero es tanto y tal su volúmen, que se transforma en ruido, ruido, ruido, ruido.

Este fenómeno obedece a nuestro creciente desarrollo industrial y urbano, que hace de la contaminación por ruido, uno de los grandes problemas modernos. Sobre todo, porque afecta la salud y el comportamiento del ser humano.

En efecto, el ruido excesivo, molesta al dormir, al estudiar, al comer, altera el sistema nervioso, interrumpe conversaciones, crea ansiedad y, lo peor, provoca trastornos auditivos e incluso lesiones.

Gracias al sistema de adaptación humana, tal parece que nos acostumbramos al ruido, y nos volvemos insusceptibles a su presencia. Pero no es así, aparentemente lo resbalamos, pero en el fondo, su impacto altera nuestro bienestar mental, emocional y físico.

CAPITULO I

1.- GENERALIDADES SOBRE EL SONIDO

1.1 CUALIDADES DEL SONIDO

Al estudiar los sonidos desde el punto de vista de la forma como impresionan al hombre, se acostumbra clasificarlos en dos - grupos: Sonidos Musicales ó simplemente Sonidos y Ruidos, considerándose que los primeros no son desagradables, mientras que -- los segundos sí pueden serlo.

La diferencia se debe a las características de las ondas - que los transmiten; así en el caso de los sonidos se trata de movimientos que son regulares, es decir, que se repiten periódicamente, aunque no sean muy simples; en cambio en el caso de los - ruidos, son enteramente irregulares y no se repiten periódicamente.

Al considerar los sonidos, estos se distinguen entre sí por las prioridades llamadas cualidades del sonido, que son: la intensidad, el tono y el timbre.

El sonido es todo aquello que se puede percibir, por medio del oído, llamándose acústica a la parte de la física que lo estudia.

El sonido se produce por la ubicación de cuerpos elásticos y se transmite por medio de ondas longitudinales a través de diferentes medios.

Como regla general, la velocidad a que se mueven las ondas sonoras, es mayor en los sólidos que en los líquidos, y en estos mayor que en los gases, siendo fija para cada substancia, dependiendo en los gases, principalmente de la temperatura. Asimismo el sonido no se transmite en el vacío.

1.2 FRECUENCIA



fig. 1.1.

Si nos referimos a la fig. 1.1, se puede observar que la -
membrana vibratoria se mueve hacia adelante (d) y hacia atrás -
(c) de su posición original (a).

Cada viaje originado desde la posición (a) hacia la posi-
ción (d), después hacia (c), hasta alcanzar la posición (a) --
moviéndose, se le llama un ciclo.

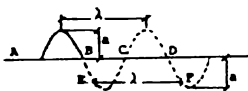
El número de veces que este movimiento se repite en un se-
gundo, esto es, el número de ciclos por segundo, se conoce con
el nombre de frecuencia. Debido a que las partículas de aire

siguen el movimiento de la fuente vibratoria, tienen por lo tanto la misma frecuencia que dicha fuente.

La abreviación ~~para~~ expresar frecuencia en ciclos por segundo es cps ó simplemente ciclos.

1.3 LONGITUD DE ONDA

Longitud de onda es la distancia que recorre la onda sonora durante un ciclo de vibración.



λ = Longitud de onda

λ = AC = BD = EF

a = Amplitud de onda

La longitud de onda, la frecuencia y la velocidad del sonido, están relacionados mediante la fórmula:

$$v = \lambda f$$

donde:

v = velocidad

λ = longitud de onda

f = frecuencia.

1.4 ESCALA DE FRECUENCIA

En acústica como en música, las frecuencias son medidas en octavas. Una octava es el intervalo entre dos sonidos cuyas -- frecuencias están en una relación de dos a uno. Para los fines arquitectónicos, las octavas más comunes son: 125, 250, 500, - 1000, 2000, 4000 y 8000 cps.

1.5 INTENSIDAD

La intensidad del sonido en una dirección específica y en un punto dado, es definida como la cantidad de flujo de energía sonora que pasa a través de una área unitaria en ese punto, -- siendo el área perpendicular a la dirección de la onda sonora. Esta intensidad es la medida de la cantidad de energía existente en las partículas de aire en vibración que origina una onda sonora.

Para ilustrar esto, consideremos una fuente de sonido y colocémosla imaginariamente en el centro de una esfera de 100 cms de radio. La energía sonora irá hacia el exterior de la esfera

y a través de su superficie en todas direcciones. Considérese como unidad de área de la superficie de la esfera, la unidad de área mencionada anteriormente. Imagínese ahora duplicado el radio de la esfera, siendo el área de la superficie de la esfera mayor proporcional al cuadro del radio, será por lo tanto cuatro veces más grande que el área de la superficie de la esfera menor. Sin embargo, la energía sonora proveniente de la fuente original es la misma en las dos esferas, pero la cantidad que llega a la superficie unitaria de la esfera mayor, estará reducida a una cuarta parte de la que llega a la esfera pequeña. Lo anterior define que la intensidad de sonido es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

1.6 ESCALA DE INTENSIDAD.

El oído humano puede captar un increíble rango de intensidades de sonido, desde 10^{-16} watts/cm² hasta 10^{-3} watts/cm². - Esto significa que el sonido más intenso que el oído, puede escuchar 10,000,000 de millones de veces más fuerte que el sonido más leve que puede ser oído. Lógicamente, el tratar en la práctica con números de esta magnitud, sería sumamente molesto, por lo que se ha establecido una unidad más sencilla para tratar con intensidades de sonido.

Esta unidad es el Decibel.

Si I_1 e I_2 , son dos intensidades de sonido distintas, la relación:

$10 \log \frac{I_1}{I_2}$ expresa el número de decibels que existen como medida de la diferencia de intensidades entre I_1 e I_2 .

Para fines prácticos, la presión de 0.0002 dinas/cm² equivalente a un sonido con una intensidad de 10^{-16} watt/cm² (el sonido más leve que puede ser escuchado por el oído humano), ha sido tomado como punto de partida para la formación de una escala de decibels, que puede medir distintas intensidades de sonidos obtenidos en la práctica. Dicha escala se expresa a continuación:

1.7 ESCALA DE DECIBELES

<u>Tipo de Ruido</u>	<u>Decibeles</u>	<u>Nivel de Sonido</u>
Murmullos, vientos suaves.	10-20	Umbral de Audi- bilidad.
Bibliotecas	30-40	Umbral de Audi- bilidad.
Ruido Normal en - casa.	40-60	Umbral de Audi- bilidad
Tráfico ligero	"	"
Oficina común	"	"
Vía rápida	60-80	Irritante
Tabulador	"	"
Oficina	"	"
Tráfico Pesado	80-100	Daños Posibles al oído.
Telar	"	"
Grito Fuerte	"	"
Motor de Avión	100-120	Umbral de Ma- lestar.
Camión Diesel Ace- lerado	"	"
Música Rock	"	"
Soldadura de oxí- geno	120-140	Umbral de dolor
Jet a 3 mts de distancia	"	"
Rifle M-1	140-170	
Escopeta	"	

En la escala anterior, sonidos menores a 10 decibeles, difícilmente pueden ser escuchados por el oído normal. Por otra parte, sonidos de más de 120 decibeles, causarían daños al oído por su fuerte intensidad. El instrumento con el cual puede medirse la intensidad del sonido es un decibelímetro que no es sino un micrófono que registra las intensidades (presiones) y los transforma mediante impulsos electrónicos a la escala de decibeles.

1.8 VELOCIDAD DEL SONIDO

El sonido viaja a una velocidad de aproximadamente 1200 km por hora. Esta velocidad permanece constante independientemente de la intensidad del sonido. Únicamente la temperatura altera dicha velocidad, incrementándola, tratándose de pequeñas diferencias de temperatura, en aproximadamente 0.5 m por segundo, - por cada elevación de temperatura equivalente a 1°F el sonido - viaja más rápidamente en líquidos y sólidos que como lo hace en el aire.

La velocidad del sonido en el agua, es cerca de 1500 m por segundo, y llega a 3900 m por segundo cuando viaja en madera dura en la dirección del grano.

1.9 MUSICA, VOZ Y RUIDO

Los sonidos generalmente tienen diferentes frecuencias.

Esto es, la fuente de sonido vibra a distinta frecuencia - simultáneamente. Un sonido que tenga una sola frecuencia es conocido como un tono simple; aquel que tiene dos o más frecuen-

cias simultaneamente es conocido como un tono complejo.

En música, el oído registra la frecuencia más baja de un tono complejo, y la identifica como el tono de la nota. Esta frecuencia identificada, es llamada la frecuencia fundamental, las otras frecuencias componentes, son conocidas como sobretonos o - armónicos los cuales determinan la calidad del sonido, y permiten distinguirlo. Por ejemplo, si se escucha la misma nota tocada a la misma intensidad en un violín, y en un clarinete, podemos distinguir fácilmente los dos sonidos precisamente por la diferencia en los sobre-tonos característicos.

La voz contiene también un tono fundamental producido por - las cuerdas bucales.

La voz masculina generalmente tiene un tono de aproximadamente 125 cps mientras que la femenina tiene normalmente un tono de una octava mayor, esto es 250 cps.

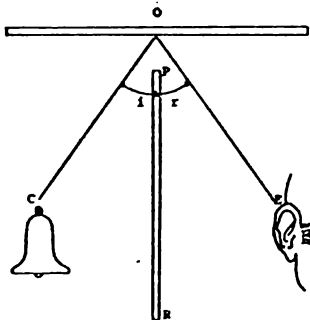
El ruido puede ser clasificado como un sonido indeseable, - ya sea que tenga carácter musical, o un carácter no musical, como el ruido de una fábrica o en una calle ruidosa. Este tipo de ruidos, raramente tienen una frecuencia predominante que puede - ser captada por el oído y aún por instrumentos especiales.

1.10 REFLEXION DEL SONIDO

Cuando una onda sonora encuentra en su trayectoria un obstáculo, parte de la energía de dicha onda se transmite a través de ese obstáculo parte la absorbe el obstáculo y parte la refleja. Si la onda encuentra a su paso una superficie uniforme y

su longitud de onda es pequeña en comparación al área de la superficie, la onda es reflejada de una manera muy similar a una onda luminosa. Es decir, cumple con la ley fundamental de la reflexión en la que se establece que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión. En la fig. 1.3 se muestra la reflexión de una onda sonora al llegar a una superficie plana. Si se representa esta onda, por una línea perpendicular, al frente de onda puede apreciarse el efecto que en la reflexión de sonido causan superficies cóncavas y convexas.

La superficie cóncava refleja el sonido hacia un foco localizado dentro de la habitación mientras que las superficies convexas dispersan la onda sonora en todas direcciones, siendo usadas en la práctica para aumentar la difusión del sonido en habitaciones. Las superficies cóncavas son útiles como reflectores de sonido pero al ser usadas en edificios, causan normalmente muchos problemas.



I. 11 DIFRACCION DE SONIDO

Cuando la longitud es aproximadamente del mismo tamaño que el obstáculo, puede decirse que el sonido "esquiva" dicho obstáculo y se propaga en una dirección distinta. Este fenómeno es conocido como difracción del sonido.

Una importante característica de la difracción es la transmisión del sonido a través de grietas o perforaciones.

Un principio elemental de acústica establece que cada punto del frente de onda, al llegar a una perforación o grieta, puede considerarse como una fuente secundaria de emisión de sonido. Si la abertura es grande comparada con la longitud de onda, se presenta únicamente una pequeña difracción en los bordes de la abertura. Si esta es pequeña, la desviación es mayor y la difracción considerable.

I.12 ABSORCION DEL SONIDO

Anteriormente se ha mencionado que parte del sonido que llega a una superficie es absorbida por esta. El porcentaje de energía que la superficie es capaz de absorber es conocido con el nombre de coeficiente de absorción de sonido y puede variar según el material desde escasamente 1% hasta casi un 100%. El coeficiente de absorción depende fundamentalmente de la naturaleza del material y varía con la frecuencia de la onda sonora, así como con el ángulo de incidencia que esta forme con la superficie.

La capacidad de una habitación para absorber sonido se mide por el número total de unidades de absorción que tenga, las cuales se conocen con el nombre de sabins. La unidad de absorción de sonido o sabin es: La absorción que tiene la superficie de un pie² de un material 100% absorbente.

Como se ve, esta definición es empírica, puesto que no existe en la actualidad material 100% absorbente.

El número de unidades de absorción que posee una determinada superficie es obtenida multiplicando el área de dicha superficie por su coeficiente de absorción respectivo a una frecuencia dada. Por lo tanto, la absorción total en un cuarto será la suma de absorciones parciales obtenidas de cada superficie distinta, así como por la absorción total proporcionada por los muebles y ocupantes.

1. 13 EFFECTOS DE LA REFLEXION MULTIPLE

El primer efecto causado dentro de una habitación por el fenómeno de la reflexión es el de un aumento en la intensidad del sonido. Una persona localizada en cualquier parte de la habitación escuchará no solamente los ruidos originados en la fuente sonora, sino también las ondas reflejadas por las distintas superficies. Así el efecto combinado de las ondas emitidas directamente y las ondas reflejadas proporcionará un nivel de intensidad mayor que el que se tiene realmente en la fuente original. Esto puede comprobarse fácilmente si recordamos el ruido

que se escucha, debido a un automóvil al pasar por un tunel compárandolo con el que se registra en camino abierto.

Lo mismo sucede dentro de una habitación; el volumen depende de la acumulación de energía, ocasionado por las ondas reflejadas, energía que va siendo disminuida gradualmente de acuerdo a la capacidad de absorción de las superficies del local. Si las superficies interiores tienen coeficiente de absorción pequeño, las ondas reflejadas perderán poca energía cada vez que lleguen a ellas; contribuyendo por lo tanto a elevar la intensidad del ruido a un nivel mayor que el que se tiene en la fuente sonora. El segundo efecto que causa la reflexión es la reverberación. Si la fuente sonora deja de emitir sonidos en un momento dado, las ondas reflejadas no desaparecerán en ese momento sino que continuarán vagando de un lado a otro reflejándose en las superficies de la habitación. En cada reflexión la onda perderá por absorción una fracción de su energía y el nivel de intensidad dentro del cuarto disminuirá gradualmente.

Una persona localizada en la habitación desde luego no escuchará estas ondas reflejadas como una repetición del sonido original, sino que percibirá el sonido durante un determinado tiempo después de haber sido emitido este lapso no es otra cosa sino el tiempo de reverberación.

I.14 EFECTOS DEL RUIDO

La protección del hombre frente a los ruidos y las trepidaciones tiene solución en la práctica, a pesar de las dificultades

en los problemas planteados; problemas que son resueltos favorablemente en la actualidad, gracias a la colaboración de Médicos, Ingenieros, Sociólogos y Técnicos de la Electro-Acústica. Para el médico encargado de los problemas de la higiene del trabajo, de la seguridad en el trabajo, la lucha contra el ruido es uno de los más importantes deberes, tratando de llevar al productor al ambiente normal menos ruidoso posible, análogamente el ruido del medio natural en que fué creado, condición que se trata de buscar hoy, no solo en las industrias sino como todos sabemos, - en la vida social y del hogar.

La fatiga nerviosa y sensorial está íntimamente ligada al aumento de los ruidos y trepidaciones, se halla ligada a la aceleración de las máquinas industriales, constituyendo un problema esencial de medicina de trabajo, de tecnología humana y de fisiopatología aplicada.

El aumento de la intensidad de los ruidos o de las trepidaciones por el hecho de los actuales medios de transporte, de las máquinas, de los talleres, la gran cantidad de productores sometidos a estas agresiones, llevan a tener que preocuparse por la fatiga nerviosa, determinada por las vibraciones; la disminución del rendimiento psi-motor, el aumento de las alteraciones mentales que exigen una lucha contra el ruido, y las trepidaciones, en relación con la intensidad de las mismas, en lugar que se producen, las lesiones del oído, ya conocidas desde la más remota antigüedad, hicieron que en un principio, el interés en estas cuestiones se centrara todo alrededor de la sordera de los caldereros; hoy son muchas las industrias y profesiones en que se

pueda medir el ruido, y comprobar los perniciosos efectos del mismo, no sólo sobre el órgano de la audición y del equilibrio, sino sobre todo el organismo; hace años que estos problemas desbordan el marco del trabajo, para convertirlo en un problema general.

I.14 a) Datos Históricos

De gran trascendencia en la historia han sido los efectos - producidos en el organismo humano por los ruidos y las vibraciones; desde la más remota antigüedad ha inquietado a los hombres - el ruido con sus funestos resultados.

Ya en el siglo IV antes de Jesucristo, la ciudad de Sybaris, fundada por los locrios en Lucania, tuvo necesidad de señalar mé todos para evitar los ruidos de sus artesanos y canteros.

En la biblia, entre otras citas célebres, se habla de Tubal caín, hermano de Noé, que fué el primero que trabajó el cobre y el hierro, cita la sordera de los caldereros, y podemos muy bien enjuiciar como efecto de las ondas sonoras y ultrasonidos los -- efectos de las trompetas de plata de los sacerdotes de Yavé, cuando a la séptima vuelta alrededor de las murallas de Jericó, éstas se derrumbaron.

En el siglo I de nuestra era, el poeta Juvenal pedía a las autoridades lugares para dormir donde no fuese turbado por el - ruido el descanso.

Frédéric Lais de León decía: "dichoso aquel que huye del mundanal ruido".

El ruido es un sub-producto de la civilización industrial moderna, pero hay industrias en que el ruido ocasionado por ellas produce molestias, e incluso, alteraciones nocivas hacia las personas más próximas a ellas.

En la actualidad los transportes (camiones, autobuses, automóviles, motocicletas, tranvías, trolebuses, metro, elevadores, aviones de todo tipo, etc.), los diversos sistemas auditivos de propaganda comercial, los mercados públicos, la actividad de las grandes urbes, han producido un aumento de medios mecánicos potentes y ruidosos que aparte del plano profesional, ha afectado al plano general, teniendo que tomar medidas los legisladores para proteger a sus ciudadanos.

I. 14 b) Traumatismo Sonoro

Los efectos patológicos del ruido en la función auditiva, producen el traumatismo sonoro con pérdida de audición, zumbidos, silbidos, modificaciones del timbre de los sonidos, sensación de amortiguamiento en la percepción de los sonidos, sensación de voz metálica, etc.

Conviene que recordemos aunque lo hagamos muy simplemente los siguientes puntos: El efecto del enmascaramiento del ruido, las perturbaciones de la localización espacial del sonido y sus fuentes de producción en ambiente ruidoso. La sensación dolorosa a intensidades altas del sonido. Las modificaciones que en el establecimiento, desaparición y latencia de la sensación auditiva tiene el fondo ruidoso. La adaptación y acomodación auditiva en la que in-

terviene la acomodación refleja de los músculos del martillo (inervado por una rama del trigémino), la del músculo del estribo (inervado por una rama del facial, la acomodación osculo-articular de la cadena osicular). La regularización y menor reparto de respuesta a nivel del oído interno y órganos sensoriales.

El equilibrio del intercambio físico-químico y recuperación de pérdidas. La regularización la puesta en sincronismo de las respuestas neuronales y de las fibras nerviosas a nivel del ganglio de Corti, y probablemente también a nivel de los "réles" de la cadena nerviosa y del córtex, por intermedio de uniones horizontales y por último el establecimiento de regulaciones reflejas de fibras centrífugas del nervio auditivo.

La fatiga es una reducción de la aptitud del órgano para responder al aumento del umbral del estímulo para la respuesta.

La fatiga no se establece al máximo a la frecuencia del estímulo, sino que se extiende para un grupo de sonidos de diversos tonos, debajo y por encima inmediatamente del sonido estimulante - que causó la fatiga, es decir, se extiende en una banda de frecuencias tanto más amplia, cuanto más tiempo duró el estímulo del sonido fatigante. No obstante se limita la fatiga a pocos tonos por debajo del estimulado, pero a bastantes por encima de él, es decir de ordinario, a dos octavas por encima, pero puede extenderse a todas las frecuencias de tonos por encima del tono fatigante.

La susceptibilidad a los traumatismos sonoros varía enormemente de unas personas a otras. Debido a ella, existen toda clase de

grados, entre aquellos que pasan toda su vida en una atmósfera, ex
tremadamente ruidosa sin presentar pérdida auditiva y aquellos -
otros que se traumatizan de una manera definitiva desde los prime-
ros instantes de estar en un ambiente ruidoso, aunque sea de inten-
sidad moderada.

CAPITULO II

AISLAMIENTO DEL SONIDO

II. 1 GENERALIDADES

El aislamiento del sonido consiste en impedir la propagación del mismo por medio de obstáculos reflectores. En contraposición a este concepto, se entiende por amortiguación del sonido la absorción del mismo, es decir, su anulación transformándolo en calor. - En forma general, puede decirse que un material absorbente no es - un material aislante y viceversa.

Para aclarar lo anterior, podemos imaginarnos un cuarto con-
struido completamente de concreto, con muros, paredes y techos de
suficiente espesor, para obtener con ello un aislamiento total de
sonido e impedir que ese salga o entre en el cuarto.

El sonido generado dentro de esta habitación, se percibirá -
en ella a un alto nivel de intensidad, debido a que las superfi-
cies de concreto por su gran dureza son altamente reflectivas, -
ayudando con ésto a obtener tiempos de reverberación elevados.

Imaginémos ahora un cuarto construido con un material absor-
bente como lo es la fibra de vidrio. Se observará que el sonido
que se genera dentro del cuarto, se absorbería en un 85% por las
superficies interiores de él, teniéndose dentro de la habitación
un nivel de ruido sumamente bajo y un tiempo de reverberación añ-
nimo.

Sin embargo, el sonido como energía que es, al llegar a una

superficie, parte de su energía es reflejada, parte la absorbe la misma superficie y parte se trasmite a través de esa superficie. En el caso del concreto, el fenómeno principal que se presenta es el de reflexión, ya que la absorción es insignificante, menor del 1%, y la transmisión es prácticamente nula. En el caso de la fibra de vidrio, la absorción es casi del 85% la reflexión prácticamente nula y la transmisión por efectos de la naturaleza porosa - de los materiales absorbentes, es también muy elevada, permitiendo que los ruidos originados dentro de una habitación, construida a base de materiales absorbentes, puedan ser escuchados con toda claridad en el exterior de esa habitación, aún cuando dentro de ella, las condiciones sean óptimas.

	<u>Concreto</u>	<u>Fibra de Vidrio</u>
Reflexión	99%	0
Absorción	1%	85 %
Transmisión	0%	15 %

Puede por lo tanto concretarse que para obtener aislamiento de sonido, se debe disponer de materiales lo suficientemente rígidos no porosos, y con masa elevada, para evitar la transmisión de las ondas sonoras a través de ellos, o bien la vibración causada por la misma incidencia de las ondas. Desde luego, en la actualidad las soluciones para proporcionar aislamiento de sonido no dependen ya exclusivamente de proporcionar grandes volúme-

nes o grandes espesores en las secciones constructivas.

Supóngase una barra compuesta de tres secciones; las dos secciones extremas, metálicas. La sección central de hule. Si se toma la barra en uno de sus extremos y se golpea con cierta fuerza, en el otro extremo podrá apreciarse, que en el extremo sujeto no se percibe ninguna vibración. Esto no sucedería si la barra estuviese formada en toda su longitud de metal en cuyo caso la vibración, debida al golpe se percibiría en la mano con bastante intensidad, la razón de que en la barra con sección intermedia de hule no se percibe la vibración, es que al estar en contacto materiales de distintas densidades, las vibraciones por ellas transmitidas del material de mayor a menor densidad, son reflejadas por este último al primero, sin permitir su transmisión hacia adelante. Este principio permite que en la práctica se obtengan un gran número de secciones a base de materiales de diferentes densidades para obtener diferentes capacidades de aislamiento del sonido.

Un índice para el aislamiento del sonido de validez general, sólo se puede obtener de la relación entre la energía de la onda que pasa E_d a la energía de la onda incidente E_c . A esta relación se le denomina también grado de transmisión del sonido. Por motivos similares a los de la escala de nivel sonoro y a los de la escala de intensidad, se elige también aquí una escala logarítmica y se define como índice de aislamiento del sonido.

$$R = 10 \log \frac{E_c}{E_d} \quad [dB] \quad (2.1)$$

Como en general no se mide la energía sino la presión acústica p , es conveniente con frecuencia no relacionar el índice de aislamiento del sonido con la relación de energías, sino con la relación de presiones sonoras P_e/P_d . Asimismo se puede determinar R de la relación de velocidades V_e/V_d .

$$R = 20 \log \frac{P_e}{P_d} = 20 \log \frac{V_e}{V_d} \quad [dB] \quad (2.2)$$

Es condición previa para ello que se midan en el mismo medio ambas presiones sonoras o ambas velocidades.

La presión sonora P_e de la onda incidente no se puede medir directamente en la mayoría de los casos, ya que esta superpuesta a la presión sonora de la onda reflejada.

Como se aprecia en párrafos anteriores, la habilidad de un material para evitar la transmisión de sonido se mide normalmente en "pérdida de transmisión" la cual se expresa en decibeles, actualmente se pueden obtener secciones cuya pérdida de transmisión sea del orden de 30 a 40 decibeles.

11.2 AISLAMIENTO DEL SONIDO MEDIDO POR AIRE

Los dispositivos para el aislamiento del sonido en el aire se encuentran generalmente entre dos recintos. La determinación

del índice de aislamiento del sonido, según la ecuación (2.1) presenta por lo tanto dificultades, ya que no puede medirse sin que sean falseadas por el recinto, tanto la energía de la onda incidente como la de la transmitida.

Sin embargo, este "falseamiento" no hay que considerarlo como desventajoso en todos los aspectos. En general no interesa el índice de aislamiento de un dispositivo aislante para un ángulo de incidencia único, sino que más bien, interesa obtener el valor medio para todos los ángulos de incidencia.

Si el recinto en que se encuentra el manantial sonoro es suficientemente grande, todas las direcciones de propagación del sonido, calculado para todas las direcciones de incidencia, se deduce de una medida única.

Según normas, para realizar medidas, tienen que utilizarse sonidos vobulados o ruidos filtrados, la medida se realiza en zonas de terceras contiguas superpuestas, extendiéndose al campo de frecuencias de 100 a 3200 Hz.

Se mide el nivel sonoro en el recinto emisor y receptor con excitación constante. El nivel sonoro se determina por el valor medio de más de seis medidas, para frecuencias inferiores a 400 Hz en distintos lugares, y de tres medidas como mínimo para frecuencias superiores a 400 Hz., también en distintos lugares. De las medidas se obtiene la diferencia de nivel sonoro.

$$D = L_1 - L_2$$

(2.3)

Este valor no expresa todavía nada sobre la amortiguación - del sonido en la pared de separación, ya que está influido por el tiempo de reverberación del recinto receptor. Para excluir esta influencia, se puede referir la diferencia de nivel sonoro obtenida a una capacidad de absorción determinada A_0 del recinto receptor. El valor así obtenido se denomina diferencia de nivel sonoro normalizada:

$$D_n = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{A_0}{A} \quad (2.4)$$

donde A : representa la superficie de absorción equivalente del recinto de recepción.

El índice de aislamiento de sonido se le denomina a menudo, número de aislamiento del sonido.

11.3 PAREDES SENCILLAS

Se entiende por pared de una sola capa o pared sencilla, - una pared en la que los puntos de la masa que están sobre la misma normal, no modifican su distancia mutua cuando la pared realiza vibraciones. Por lo tanto la pared de una sola capa no requiere ser homogénea, puede constar por ejemplo de varias capas y puede contener también espacios vacíos huecos. El que sea de una capa no constituye, por lo tanto, necesariamente una propiedad de la pared; es decir, una pared puede vibrar como de una sola capa de frecuencias bajas y como pared de varias capas para frecuen-

cias altas.

Según la definición anterior, para la pared de una capa, las velocidades en $X = 0$ y $X = a$, tienen que ser iguales fig. 2.1

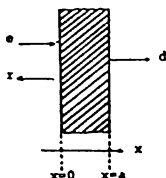


fig. 2.1

La condición de continuidad exige además, que en $X=a$ las velocidades de la pared y del aire que se encuentra detrás sean iguales en este caso es conveniente, por lo tanto, determinar el índice de aislamiento sonoro a partir de la relación de las velocidades de la onda incidente y transmitida, según la ecuación 2.2.

Por la conexión mecánica en paralelo de la pared y medio que queda tras ella (igual velocidad), resulta para la impedancia de entrada de la pared en el plano $X=0$.

$$Z_2 = j \omega M + Z \quad (2.5)$$

En la que M es la masa por unidad de superficie de la pared.

La ecuación (2.5) implica que la pared sea eficaz sólo a causa de su inercia de masa.

Para incidencia normal del sonido es equivalente a la condición de que la pared no sea obstaculizada en su vibración por la sujeción lateral. Excepto para extensiones de pared muy pequeñas, esta condición se cumple siempre suficientemente bien.

La relación de velocidades se reduce a la ecuación (2.6)

$$\frac{v_0}{v_1} = \frac{A E_2}{C T_1} \quad (2.6)$$

Para $Z_1 = \rho c$ y de la ecuación (2.5), obtenemos finalmente (de acuerdo con la ecuación (2.2)), para el índice de aislamiento sonoro en paredes de una capa cuando el sonido incide perpendicularmente, la expresión:

$$R = 20 \log (1 + j \omega R/2 \rho c) \quad (2.7)$$

Esta ecuación (2.7) contiene dos resultados importantes.

La primera es que el aislamiento de una pared es tanto mejor cuanto más pesado es.

Prescindiendo del caso límite, de paredes muy ligeras y frecuencias bajas, una duplicación del peso produce un aumento del aislamiento de unos 6 dB. Por ejemplo, una pared con un peso superficial de 150 kgf/m^2 posee un aislamiento medio de unos 40 dB si se duplica su peso a 300 kgf/m^2 el aislamiento sólo se aumenta de 40 a 46 dB. El segundo punto importante es que el aislamiento de una pared dada aumenta siempre al aumentar la frecuencia.

La consideración precedente, válida para la incidencia normal del sonido, se puede ampliar también sin dificultad a las ondas sonoras que inciden bajo el ángulo. Para esto sólo es necesario considerar que con la incidencia oblicua, la velocidad en el aire y la velocidad en la pared, están dirigidas de manera diferente y tienen diferente valor. Como se desprende fácilmente - de la fig. 2.2 la velocidad de la pared es más pequeña multiplica

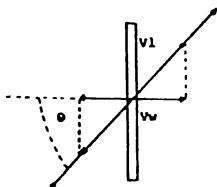


fig. 2.2

da por el factor $\cos \theta$, que la velocidad en el aire. Esto lleva consigo también la resistencia de la pared es más pequeña por factor $\cos \theta$ de forma que en lugar de la ecuación (2.5), tenemos que escribir:

$$Z_2 = j \omega M \cos \theta + Z_1 \quad (2.8)$$

El índice de aislamiento del sonido por una pared se deduce, por lo tanto, para cualquier ángulo de incidencia θ por:

$$R_{\theta} = 20 \log \left| 1 + j \frac{w M}{2 \rho c} \cos \theta \right|$$

El aislamiento sonoro es, por lo tanto, máximo para la incidencia perpendicular ($\theta = 0^\circ$) y disminuye continuamente al aumentar el ángulo de incidencia.

La ecuación (2.9) indica que para incidencia tangente ($\theta = 90^\circ$) el aislamiento en el caso límite es nulo.

En la práctica es de interés sobre todo el aislamiento de una pared calculado para todos los ángulos de incidencia, pero como se gún se expuso anteriormente, el aislamiento para grandes ángulos de incidencia, por ejemplo, depende del tamaño de la pared; no es por lo tanto posible realizar un cálculo de validez general. La parte de energía que se transmite con grandes ángulos de incidencia es en general relativamente pequeño, de tal forma que se llega a una expresión suficientemente exacta si en la medida no se tienen en cuenta los ángulos de incidencia de unos 80 a 90° . El cálculo realizado de este modo, suministra un índice de aislamiento disminuido en unos 10 dB con respecto a la incidencia perpendicular, lo cual coincide bastante bien con los resultados de la experiencia y de la práctica.

11.4 PLACAS "SANDWICH"

Para la acústica no son de interés las propiedades estáticas de la pared, mientras que para la estática en general, tiene poca

importancia la rigidez que presenta la pared para frecuencias por encima de 100 Hz; es decir en la zona de frecuencias más interesantes en acústica. Bajo ciertas condiciones se pueden hacer compatibles entre sí la rigidez estática y la elasticidad a la flexión dinámica, y esto ocurre cuando las paredes poseen una estructura apropiada en capas. Si se construye la placa o pared como un sandwich de tres capas, de las cuales las dos exteriores tienen un alto módulo de elasticidad (por ejem. metal) mientras que la capa interior es realmente incomprensible pero relativamente blanda, se demuestra que la flexión de una placa de esta naturaleza se puede producir de dos modos diferentes.

Como se presenta en la figura 2.3 una placa de esta clase puede doblarse tanto de una manera normal, es decir, estirándose la capa externa y comprimiéndose la interna, como también manteniendo ambas capas exteriores su longitud primitiva mientras que el material interior se deforma por deslizamiento. En el segundo caso, los planos de la sección transversal, que antes de la flexión eran paralelos, permanecen así también después de la flexión, mientras que en el primer caso forman entre sí, un cierto ángulo.

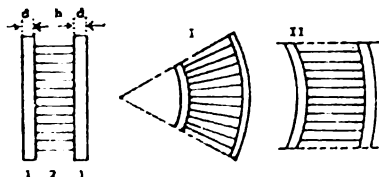


fig. 2.3

A fin de determinar las condiciones que deben cumplir las placas de tres capas para lograr el efecto deseado, (aislamiento del sonido), es necesario calcular en estas placas la variación de la velocidad de las ondas de flexión en función de la frecuencia. El cálculo suministra al mismo tiempo la prueba de la posibilidad anterior.

Para simplificar el cálculo, supongamos que el espesor de las capas exteriores (d) es pequeño en comparación con el de la capa central (h). Supongamos además que el material de dicha capa es - incomprensible y que su rigidez a la flexión es prácticamente despreciable. Considerémos en primer lugar la deformación de flexión tal como indica la figura 2.3 I.

Para el caso de impedancia de onda Z^* (función de la velocidad arbitrariamente variable C^*) esta dada por:

$$Z_D^* = j \omega M_D + \frac{\omega^3}{j C^* 4} B_D \quad (2.10)$$

en la que M_D es la masa total por unidad de superficie de la placa de tres capas y B_D su rigidez a la flexión total:

$$B_D = \frac{E_1 J}{1 - \bar{\nu}_1^2} \quad ; \quad J = \frac{h^2 d}{2} \quad \text{para } d \leq h \quad (2.11)$$

Siendo E_1 = módulo de elasticidad y $\bar{\nu}_1$ = índice de contracción transversal de las capas exteriores, mientras que el material del centro se deforma por desplazamiento.

En la práctica eligiendo apropiadamente la geometría de la placa de tres capas, es siempre posible evitar completamente la coincidencia dentro de la zona de frecuencias que interesen.

La dificultad esencial para la realización de tabiques aislantes del sonido consiste en satisfacer con la suficiente aproximación el requisito de que la capa central sea incomprensible.

Hay gran número de plásticos o sustancias similares a la goma que satisfacen las condiciones exigidas, pero sólo se pueden emplear en casos excepcionales por razones económicas. Si en cambio se construye la capa central (2) con materiales porosos más baratos, tales como placas de fibra o espuma de plástico, entonces resulta que el aislamiento queda disminuido por otro efecto debido a la vibración de resonancia en espesor. La comprensibilidad de tales sustancias porosas es tan grande, que usadas como capa central en una placa sandwich, actúan como un muelle y - junto con la masa de las capas exteriores, dan una frecuencia propia de vibración en espesor que cae dentro de la zona audible. - Para el aislamiento de sonido en general no interesan las frecuencias por encima de 3200 Hz. Hay que procurar por lo tanto, que - la frecuencia propia de vibración en espesor no quede por debajo de 5000 Hz. Si por razones económicas se tiene que recurrir a - los materiales porosos, sólo se podrá lograr haciendo la capa central anisótropa para la rigidez al deslizamiento.

Para lograr el efecto que desea, utilizando placas de fibra se puede aprovechar la anisotropía que existe casi siempre en la dirección de las fibras. Si se procura que las fibras esten per-

fectamente perpendiculares a la superficie de la placa, se disminuye la compresibilidad sin perjudicar la rigidez al deslizamiento.

Una posibilidad de distinta índole para la construcción anisótropa de la capa central está representada en la fig. 2.4 por flexión de las partes delgadas de la placa.

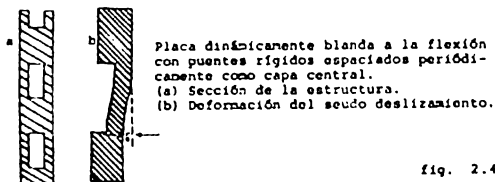


fig. 2.4

Si bien para altas frecuencias se trata también de una deformación por flexión, esta equivale a la deseada deformación por deslizamiento, ya que las aristas de dos puentes contiguos permanecen paralelas a la flexión. La zona de frecuencia superior para la cual en las placas sandwich la velocidad de las ondas de flexión de las capas exteriores es decisiva para la velocidad de propagación de las ondas transversales, no existe ahora ya que en las capas exteriores solas, no es posible ninguna propagación de ondas de flexión. La posibilidad de funcionamiento de estas placas, con una estructura especial, periódica del núcleo, está limitada hacia las frecuencias altas, ya que la distancia entre dos puentes vecinos tiene que ser siempre pequeña en comparación con la longitud de la onda de flexión en los puentes de unión de pared delgada.

da, para que la rigidez al sordo deslizamiento sea independiente de la frecuencia. Si para frecuencias altas, la distancia entre dos puntos contiguos es igual a una longitud de onda de flexión, las partes sin soporte de placas exteriores pueden vibrar en resonancia, lo que disminuye considerablemente el aislamiento del sonido.

Con una elección apropiada de la geometría, se puede lograr, sin embargo con estas placas, aislamientos acústicos que se aproximan mucho al de una pared blanda ideal, sin tener que renunciar a la rigidez estática a la flexión.

II.5 PAREDES MULTIPLES

Mientras que la mejora del aislamiento acústico en unos 5dB, que se consigue en la práctica al duplicar el peso de las paredes de una sola capa, compensa el gasto en el caso de paredes ligeras, en las paredes pesadas ya no sucede lo mismo. Una pared de una capa, con un aislamiento de 40dB, pesa en general unos 100 Kg/m^2 . Prescindiendo de que a menudo no es aceptable por motivos estáticos una duplicación del peso, estos 5 dB de mejora se pagan caros con los 100 Kg/m^2 . Si se colocara separada de la primera, una segunda capa del mismo peso, se obtendría un índice de aislamiento medio de unos 80 dB en lugar de 40. La causa de este aislamiento mucho mayor, es que en este caso el sonido tiene que salvar dos veces el paso del aire (medio blando y ligero) a la pared (medio duro y pesado), y de nuevo al aire. La duplicación del aislamien

to a 80 dB, sólo es posible cuando la segunda pared no tiene repercusión sobre la primera, es decir, cuando entre las dos paredes no existe ninguna clase de acoplamiento. Esto presupone entre otras cosas que el campo sonoro entre ambas paredes sea difuso, de forma que la resistencia de entrada del espacio intermedio no se diferencia considerablemente de la resistencia de onda del aire.

Como esta condición no puede cumplirse nunca en la práctica, al menos para frecuencias bajas, no se alcanza nunca, por lo tanto, la suma de los índices de aislamiento de las paredes.

El hecho de que con paredes múltiples se logre un gran aislamiento con poco peso, es de importancia decisiva para la protección de ruidos. La limitación del peso es la condición que se opone más a menudo a la protección de ruidos.

Naturalmente, todas las exigencias que se ponen a la naturaleza de la pared de una capa para lograr un aislamiento acústico alto, valen también para las distintas capas de una pared múltiple todo lo que hay que tener además en cuenta en la pared de varias capas, estará relacionada con evitar o disminuir la repercusión de las distintas capas entre sí.

11.6 LIMITACION DEL AISLAMIENTO, EN LA TRANSMISION DEL SONIDO POR CAPAS SECUNDARIAS.

Mediante los recursos descritos en el párrafo precedente se podría aumentar a voluntad el aislamiento acústico de una pared - sin embargo, este aumento carece de sentido tan pronto como en el recinto que debe blindarse se alcance el nivel sonoro producido por

la transmisión del sonido por caminos secundarios, o sea, por el sonido que no es transmitido directamente a través de la pared de separación. Este límite es de 50 a 55 dB en edificios altos construidos con el aislamiento medio. Algunos ejemplos de trayectos secundarios son los elementos de estructura que pasan del recinto ruidoso al recinto que debe blindarse, como paredes maestras, techos, asientos de máquinas, pavimentos flotantes, además del subsuelo, tuberías y canales de ventilación y salida de humos.

La transmisión del sonido por estos caminos secundarios se realiza por la propagación de sonido en sólidos, el cual es inducido por el sonido en el aire en la zona de ruido y, en la zona tranquila, es irradiado de nuevo como sonido en aire.

Estos caminos secundarios pueden eliminarse por:

a) Impedimento de la excitación (blindaje del conductor de sonido corpóreo o reducción de la velocidad de onda transversal por debajo de la velocidad del sonido en el aire).

b) Aislamiento del sonido corpóreo.

c) Amortiguación del sonido corpóreo.

d) Impedimento de la radiación.

II.7 EL AISLAMIENTO DEL SONIDO EN LIQUIDOS.

Como ya se ha visto anteriormente, las sustancias sólidas no son apropiadas para el aislamiento del sonido en los líquidos porque sus resistencias de onda no son esencialmente mayores que las de los líquidos, y esto hace un aislamiento poco eficaz.

Por esta causa, para el aislamiento sonoro en los líquidos, se emplean siempre materiales blandos de poros cerrados, cuya rigidez está dada principalmente por la rigidez de los gases encerrados en los poros.

Para el cálculo del aislamiento que se puede obtener con una de estas capas blandas, consideramos, como en la fig. 2.5, una capa de aire B en un medio líquido A, sobre la cual incide perpendicularmente una onda sonora.

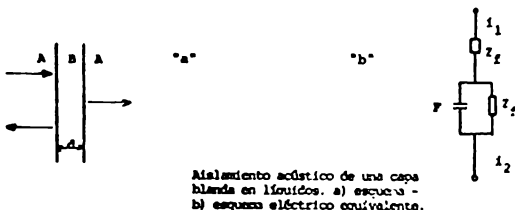


fig. 2.5

Si suponemos que el espesor de la capa de aire (d) es pequeño en comparación con la longitud de onda en el aire para la frecuencia en cuestión, podemos concebir la capa de aire como una -- elactancia F , cuya magnitud es función de la frecuencia; sobre la capa elástica y el medio que queda detrás actúa la misma fuerza.

Ambas están conectadas mecánicamente en serie y en paralelo, en el esquema eléctrico equivalente. La resistencia de entrada total de la capa de aire del medio tras ella viene dada por:

en la que R es la resistencia de onda del líquido.

II.8 AISLAMIENTO DEL RUIDO DE LAS PISADAS

El pavimento flotante, utilizado en arquitectura para el aislamiento del ruido de las pisadas, forma parte de las medidas más conocidas para el aislamiento del sonido en los sólidos. Consta de una capa aislante blanda de 10 a 20 mm de espesor, de fibra o esponja, que se coloca sobre el suelo y una placa pesada de pavimento de 40 mm de espesor sobre ella. A causa de su gran dimensión horizontal, no se puede concebir el pavimento flotante a priori como un simple sistema masa muelle, pues por la excitación sonora puntiforme, la placa pavimento no vibra en todas partes con la misma fase como una membrana de ámbolo. El sistema suelo-placa flotante, representa una placa sandwich cuya capa central es la aislante.

El problema del aislamiento del ruido de las pisadas es distinto al del aislamiento del sonido en sólidos que hemos expuesto en el párrafo anterior, ya que aquí se trata de sonidos en sólidos y en el aire al mismo tiempo. Se denomina ruido de pisadas al sonido radiado al aire por el suelo excitado con sonido corpóreo (pasos, golpes, etc.). La disminución del ruido de la pisada es posible, por lo tanto, por aislamiento del sonido en sólidos, por disminución de la radiación y por aislamiento del sonido en el aire (capa inferior suspendida).

En una capa múltiple de dos estratos acopiada con un lecho

elástico, son posibles dos formas fundamentales de ondas transversales, a saber, una onda de flexión en la que ambos estratos vibran en fase, pero con distinta amplitud y una onda de dilatación en la que ambas capas vibran en oposición e igualmente con distinta amplitud, de forma que la capa central es deformada como en la propagación de las ondas de dilatación. Ambas formas de ondas, en el caso límite de pequeño acoplamiento (altas frecuencias), se transforma en el suelo o placa del pavimento en ondas de flexión no perturbadas. La última clase de ondas citadas sólo es de importancia en la zona de resonancia del pavimento. En frecuencias más altas presenta siempre la menor velocidad de propagación (menor factor de radiación) y el mayor amortiguamiento cediendo éstas en importancia frente a las ondas de flexión propiamente dichas.

II.9 AISLAMIENTO DE VIBRACIONES

Para el aislamiento de vibraciones se trata, o bien de impedir que las vibraciones procedentes de una máquina se transmitan al suelo o a otros grupos unidos a la máquina, o bien de procurar que las sacudidas del suelo no se transmitan a un aparato sensible. En el primer caso se trata de aislamiento activo, mientras que el aislamiento de un aparato contra vibraciones que vienen de fuera se le denomina aislamiento pasivo. Como aquí tenemos - que operar con frecuencias muy bajas, ya no es posible la propagación de ondas en el aparato, porque este es pequeño en compara

ción con la longitud de onda. El aparato a aislar vibra en todas sus partes con la misma fase. El aislamiento de vibraciones coincide con el mismo concepto que el aislamiento del sonido en el -- aire y en los cuerpos sólidos. Para las bajas frecuencias de la vibración el aislamiento es incluso la única posibilidad efectiva; mientras que para el sonido en el aire y en los cuerpos sólidos, se puede impedir también la propagación de las ondas por amortiguación en las vibraciones, a causa de la magnitud de la longitud de onda se elimina la posibilidad.

En los cimientos de una máquina aislada de las vibraciones, a menudo se introduce suplementariamente una amortiguación, sin embargo, esta no tiene por objeto mejorar el aislamiento, sino que incluso lo empeora. El objeto de esta amortiguación, es impedir - amplitudes de vibración demasiado grandes por la excitación de vibraciones de resonancia.

El aislamiento de vibraciones se parece al aislamiento de sonido en los cuerpos sólidos, en que aquí también el aislamiento - eficaz sólo es posible por medio de materiales aislantes blandos. Como las frecuencias bajas aparecen grandes amplitudes de vibración, ya no se utilizan sin embargo. (como en el sonido en sólidos) hacen cerradas para el aislamiento sino elementos aislados de muelles de acero de goma o materiales similares.

CAPITULO III

AMORTIGUACION DEL SONIDO

III.1 SUSTANCIAS ABSORBENTES DEL SONIDO.

Se les denomina sustancias absorbentes del sonido, a aquellas sustancias en las que la propagación del mismo está sometida a una fuerte amortiguación teniendo lugar ésta por absorción de la energía sonora, es decir por su transformación en calor. Las sustancias absorbentes, pueden ser o materiales homogéneos - en los cuales las pérdidas se originan por frotamiento interno, es decir, deformaciones irreversibles, o sustancias porosas, cuyos poros la atraviesen en las cuales la energía se consume por frotamiento externo de las partículas en movimiento del medio transmisor del sonido y el esqueleto del material poroso. En el primer caso, es la presión sonora la causante de la deformación del material, mientras que en el segundo caso es la velocidad del sonido la magnitud decisiva para la pérdida.

De cual de los dos mecanismos de absorción sea el más apropiado para lograr una absorción de sonido la mayor posible, depende de que además de exigir una gran amortiguación de las ondas sonoras que se propagan en la sustancia absorbente, se tenga que satisfacer una segunda exigencia de importancia.

Con una sola excepción, no entran en consideración como sustancias absorbentes del sonido en el aire, las sustancias homogéneas impermeables al aire, pues la resistencia de onda de las

más ligeras sustancias sólidas es de un orden de magnitud mucho ma
yor que en el aire. Por el contrario son las sustancias sólidas
con un gran rozamiento interno, muy apropiadas para la absorción -
del sonido en los líquidos; ya que la resistencia de onda de muchas
clases de goma y de plástico, es prácticamente igual a la del agua,
de modo que se dispone del factor de reflexión pequeño deseado.

La excepción citada, referente a las sustancias absorbentes
del sonido en el aire, la constituyen las espumas de plástico blan
das con poros cerrados. Esta clase de sustancias tampoco son en
realidad homogéneas pero aquí el rozamiento interno es responsa
ble sin embargo de la absorción (y la transmisión del calor), ya
que, como consecuencia de ser cerrados los poros, no puede produ
cirse un movimiento relativo entre el gas y la estructura sólida.
Es posible fabricar espumas, de esta clase, cuyas densidades sean
de un mínimo de unos 10 kg/m^3 , con esto su densidad sigue siendo -
todavía unas diez veces la del aire al nivel del mar pero para la
resistencia de onda no es sólo decisiva la densidad sino que tam
bién lo es la velocidad del sonido y esta como se vió anteriormen
te es frecuentemente menor en las espumas que en el aire. Ello -
se debe a que la densidad es mayor que en el aire libre y a que -
la compresibilidad del aire en los poros cerrados, por no ser ya
adiabática a causa de la buena transmisión del calor, es igualmen
te mayor que en aire libre. Esto está subordinado a que la sustan
cia de la estructura porosa sea tan blanda, que su compresibilidad
esté determinada exclusivamente por el aire incluido. Actualmente
con las sustancias que satisfacen esta condición no puede fabricar
se todavía espuma de la baja densidad antes citada.

Las sustancias de esta clase absorbentes del sonido, se utilizan hasta ahora poco en la práctica. El motivo es que, además de la densidad demasiado alta, ciertos problemas técnicos, como la estabilidad al envejecimiento de las espumas blandas no se han podido resolver satisfactoriamente. Las sustancias absorbentes de poros cerrados, ganarán sin duda alguna, gran importancia en el futuro, ya que presentan ventajas considerables. A causa de su superficie cerrada son fáciles de limpiar y no absorben agua el espesor de capa necesario es menor que en las sustancias usualmente utilizadas hasta ahora, a causa de la pequeña velocidad del sonido, y se pueden montar sin separación de la pared, ya que no reaccionan por la velocidad sino por la presión sonora.

En las sustancias absorbentes porosas, con poros que las atraviesan utilizadas generalmente hoy día en la práctica para la absorción del sonido transmitido por el aire, la absorción tiene lugar por rozamiento de las partículas del aire con los elementos del esqueleto. Este mecanismo de absorción hace que las pérdidas de energía aparezcan solamente cuando exista movimiento de partículas. Inmediatamente delante de una pared dura no es este el caso a causa de la condición marginal ($v=0$) para la velocidad normal a la pared. Por lo tanto, no tiene sentido colocar una capa delgada de un material de esta clase directamente sobre la pared.

La amortiguación del sonido al propagarse en las sustancias absorbentes solo juega papel en la práctica de la protección de ruidos de frecuencia altas con las cuales por las cortas longitudes de onda, se puede cumplir sin dificultad el que los espesores

de las capas sean como mínimo comparables con la longitud de onda. En la absorción de frecuencias bajas, se utiliza únicamente la sustancia absorbente del sonido para producir una determinada resistencia de circulación con las que se puede lograr igualmente - grados de absorción verdaderamente altos con una disposición especial apropiada.

III.2 ABSORBENTES POROSOS

Por estructuras absorbentes del sonido deben entenderse todas las estructuras que sirven para la absorción del sonido y que no consisten de una capa homogénea de sustancia. Hay que distinguir entre tales estructuras las que están constituidas por materiales porosos y los llamados absorbedores resonantes o resonadores.

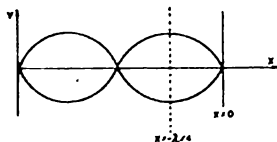


Fig. 3.1

La función del absorbedor poroso se puede explicar fácilmente mediante uso de un modelo sencillo. Consideremos una onda plana que incide perpendicularmente sobre una pared completamente reflectante ($r=1$) ver fig. 3.1. Inmediatamente antes de la pared y

a consecuencia de su inflexibilidad la velocidad es cero.

A la distancia de un cuarto de longitud de onda, delante de la pared, la velocidad tiene un máximo. Si se sustituye en el plano $x = -\lambda/4$ (fig.3.1) la resistencia de corriente de valor Z , que puede constar por ejemplo de una placa de fibra, se acopla a la impedancia $Z=0$ que actúa en este plano, una resistencia Z en serie, en resumen el conjunto es por lo tanto una eficaz impedancia real valor Z . Para $x = -\lambda/4$ la resistencia de circulación pasa por el máximo de la velocidad, de modo que resulta ser totalmente efectiva. Si se varía la frecuencia, manteniendo fija la distancia entre la placa porosa y la pared, disminuirá el grado de absorción al aumentar la frecuencia hasta que descienda a cero para frecuencia doble. La distancia entre placa y pared es entonces de $\lambda/2$ y la resistencia de circulación ya no puede ser activa, puesto que en este plano la velocidad es nula. - - - Para $x = -3\lambda/4$ se produce de nuevo absorción completa y así sucesivamente.

Una tal respuesta del grado de absorción sería muy mala si no se equilibrara de otro modo.

Los absorbedores porosos pueden consistir en una placa porosa colocada o colgada libremente en el espacio, refleja aproximadamente el 25% de la energía. Como la energía sonora que penetra a causa de la relación numérica de la resistencia es absorbida en los $2/3$ y es radiada de nuevo $1/3$, se deduce un grado de absorción del 50%.

El mismo proceso tiene lugar también en la otra dirección, -

o sea, que las placas en esta disposición es más activa con un 100% de absorción referido a la superficie sencilla, que si se colocara delante de la pared. Esta posibilidad se ha utilizado todavía poco hasta ahora.

Actualmente se utilizan de preferencia fibras de origen mineral como lana mineral, lana de vidrio, lana de basalto, lana de escorias etc., como sustancias porosas y en pequeña escala fibras de origen orgánico, estas se suelen aplicar en forma de lana suelta, esferas acolchadas o placas unidas con aglomerantes. La blandura de estos materiales hace necesario en muchas ocasiones una cubierta protectora contra deterioros mecánicos y dado el caso, como protección contra la lluvia también por motivos arquitectónicos es deseable muchas veces un revestimiento óptico.

Naturalmente a las cubiertas de esta clase deben exigírseles que sean casi totalmente permeables al sonido, ya que si no disminuirían la acción del material absorbente del sonido, Se utilizan preferentemente placas perforadas y ranuradas de todas clases (panchas perforadas, placas de fibra duras, placas de yeso), con una proporción de superficie perforada como mínimo de 15%. Tales placas pueden considerarse como totalmente permeables al sonido si satisfacen dos condiciones de la profundidad efectiva de agujero 1°.

$$1^{\circ} = 1 + 1.6r$$

(r = radio del agujero), debe ser inferior a un cuarto de longitud de onda del sonido a absorber, y la distancia entre agujeros o ranuras tiene que ser menor a una semilongitud de onda.

Como aquí es decisiva la profundidad del agujero, hay que tener precaución al utilizar placas más gruesas (placas de yeso). En ningún caso puede considerarse permeable al sonido una pared de ladrillos perforados o enrejados, a no ser que su porción - agujerada sea bastante mayor que el valor exigido de 15%. En las instalaciones industriales en las que los puntos de vista de arquitectura interior son de importancia secundaria, para recubrimiento se utilizan generalmente chapas perforadas con agujeros de unos 3 mm de diámetro y con una proporción de superficie perforada de 15 a 35%. Las cubiertas con placas perforadas, de ser posible, no deben ser colocadas inmediatamente delante de la capa absorbente, si no se puede evitar esta disposición, hay que tener en cuenta el hecho de que la resistencia activa de circulación - puede elevarse considerablemente por cubrimiento parcial de la superficie en determinadas circunstancias y según el espesor.

En los recintos húmedos, o en los que por motivos higiénicos tengan que lavarse las paredes, se puede utilizar como recubrimiento de la sustancia absorbente, una lámina de plástico sin perforar.

Es condición previa, naturalmente que no sea demasiado grande el aislamiento de sonido de la lámina y que por lo tanto, la lámina no resulte excesivamente pesada.

III.3 MEDIDA DEL GRADO DE ABSORCIÓN SONORA

Para la medida del grado de absorción de los dispositivos absorbentes del sonido existen dos métodos que son la medida en el tubo de impedancia y la medida en la sala de resonancia.

La medida en el tubo de impedancia es el método más exacto, pero tiene el inconveniente que sólo suministra el factor de reflexión r , o el grado de absorción sonora α para las ondas sonoras que inciden perpendicularmente. En la práctica, por el contrario, se necesita casi siempre el grado de absorción medio bajo, - todos los ángulos de incidencia, porque se trata de tener una indicación sobre la efectividad de las sustancias absorbentes, en un recinto. La mayor exactitud y la necesidad bastante menor de trabajo y tiempo, aseguran al método su exactitud y la necesidad bastante menor de trabajo y tiempo.

El método se puede explicar con pocas palabras a la vista del esquema de un tubo de impedancia reproducido en la fig. III.2. La muestra a ensayar (P), por ejemplo una placa de fibra ante una almohada de aire, se coloca en un extremo del tubo limitado por - paredes duras ante una placa de cierre dura al sonido H (placa de acero), que cierra el tubo herméticamente al aire. La sección - del tubo es cuadrada o circular. El extremo de tubo opuesto al objeto de medida se cierra convenientemente por medio de cuñas de absorción y sin reflexión. En la fig. 3.2 está dibujado el altavoz L,

h - Onda de
P - Muestra a medir
M - Microfono
L - Alarma
E - Onda de reflexión

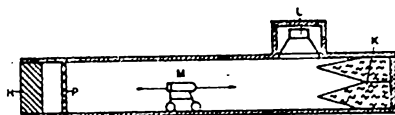


fig. 3.2

colocado lateralmente. El sonido irradiado por él, va como onda plana al objeto de prueba P, y allí se refleja parcialmente, de forma que se origina ante él una onda estacionaria. Con el microfono M, desplazable en la dirección del eje longitudinal del tubo, que se supone es un receptor de presión se puede explorar la onda estacionaria. El microfono indica el valor medio de la presión sonora con el tiempo. La medida del grado de absorción en la sala de resonancia se basa en la fórmula de la reverberación de Sabine, ecuación 3.2

$$T_{sab} = 0.163 \frac{V}{\lambda} \left[\frac{m^3}{m^2} \right] (s)$$

donde:

$$T_{sab} = \text{Tiempo}$$

$$" = \text{Tiempo} \quad (3.2)$$

La sala de resonancia es un recinto sin ventanas, de forma cuadrada u oblicuángula, con paredes lo más reflectantes posible y, por consiguiente, con un tiempo de reverberación largo. Si se mide en segundos el tiempo de reverberación de uno de estos recintos, en función de la frecuencia, primero en vacío (T_0) y luego, después de colocar una muestra suficientemente grande de material a ensayar (T_m) se puede calcular el grado de absorción de la muestra a partir de la diferencia de los tiempos de reverberación. Para ello sirve la ecuación siguiente (3.3) deducida de la ecuación (3.2)

$$A = 0.163 \ V \left[\frac{1}{T_m} - \frac{1}{T_0} \right] \quad (3.3)$$

siendo V el volumen de la sala de resonancia en metros cúbicos y A la superficie de absorción equivalente de la muestra en metros cuadrados.

El grado de absorción de la muestra, como valor medio de todos los ángulos de incidencia que se producen en el recinto, viene dado por:

$$\alpha_{sab} = A/S \quad (3.4)$$

en el que la S es la superficie de la muestra colocada. El índice α_{sab} indica que el grado de absorción ha sido calculado -

por medio de la fórmula Sabine.

Las medidas del cálculo de absorción realizadas de este modo, dan a menudo valores que son mayores de 1.0 o respectivamente 100%. Un resultado por fenómenos de difracción, puede ser efectivo por encima de sus limitaciones geométricas.

III.4 AMORTIGUAMIENTO DE PROPAGACION

La llamada amortiguación de propagación, no es una amortiguación en sentido estricto, ya que no está unida a una pérdida de energía.

Aquí más bien se trata de una disminución de la amplitud del sonido que es originada por la distribución de la energía en un volumen mayor. Así la densidad de energía en una onda sonora disminuye forzosamente de una manera inversamente proporcional al cuadrado del radio (r). Únicamente en las ondas planas que en la práctica sólo pueden realizarse en canales, no aparece una disminución de la amplitud de esta clase.

III.5 AMORTIGUACION CLASICA

Se conoce como amortiguación clásica a aquella que es atribuida a la viscosidad del medio, es decir, al roce interno y a la transmisión del calor. Evidentemente se pierde parte de la energía sonora por la viscosidad, y esto numéricamente viene dado por:

$$\alpha = \frac{2}{3} \cdot \frac{n}{f_0} \cdot \frac{v^2}{c}$$

En la que $\frac{n}{f_0}$ significa la viscosidad cinemática del medio que transporta el sonido, a la ecuación anterior se le conoce como el coeficiente de amortiguación clásica.

La dependencia de la frecuencia que viene expresada en la ecuación (3.5), es característica de todas las clases de amortiguación. El coeficiente de absorción α aumenta con el cuadrado de la frecuencia de forma que la magnitud α/v^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 sólo juega papel esencial en medios con un índice de transmisión de calor extremadamente alto, como por ejemplo el mercurio.

III.6 CARACTERISTICAS QUE DEBE REUNIR UN MATERIAL ABSORBENTE DE SONIDO.

Al pensar en la selección de un material que va a ser empleado como absorbente de sonido, deberán tomarse en cuenta las siguientes características:

1. - Capacidad de Absorción de Material. A la fecha contamos con materiales cuya capacidad de absorción es tan alto como el 90% con lo cual se logra reducir el área de las superficies tratadas.

2.- Propiedades Inorgánicas del Material. Este factor se debe tomar en cuenta con el fin de evitar la creación de roedores, bacterias, etc., que perjudican la vida del material.

3.- Propiedades incombustibles del Material. Esto es considerado en el aspecto que las primas de seguros aplicables a los edificios se reducen considerablemente si se cuenta con plafones o elementos de construcción de carácter incombustible.

4.- Las Propiedades Reflectivas de Luz del Material. Es un criterio general adoptado al usar material cuyo coeficiente de reflexión de luz no sea inferior al 60%.

5.- Apariencia. Deberá en todo caso procurarse una apariencia adecuada de un color agradable, fácil de combinar con distintos acabados de manera que no afecte la apariencia arquitectónica del inmueble.

6.- Eficiencia Térmica. En el caso de edificios, donde se tengan instalaciones de aire acondicionado, la eficiencia térmica del material reviste una gran importancia debido a los ahorros de gran magnitud que puede proporcionar al disminuirse considerablemente la inversión inicial de los equipos de refrigeración o calefacción, así como el costo de mantenimiento y operación.

7.- Rapidez de Colocación. Debe procurarse que los materiales usados sean de rápida instalación para disminuir costos.

8.- Conservación. Deberán considerarse las facilidades que el material presente para su limpieza de modo que se pueda proveer o conocer el costo necesario para este fin.

9.- Costo. Deberá considerarse no sólo el precio inicial del producto, sino las ventajas que con él se obtienen a través de los puntos mencionados anteriormente.

Un balance final de los nueve incisos proporcionará una idea verídica respecto al verdadero costo del material.

CAPITULO IV.

LA PROTECCION DE RUIDOS EN LA CONSTRUCCION.

IV. 1 Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental originada por la Emisión de Ruidos.

A continuación leeremos los artículos más importantes para nuestro trabajo del Reglamento para la prevención y control de la contaminación ambiental, publicada en el Diario Oficial el 2 de enero de 1979.

IV. 1 a) Disposiciones Generales.

Artículo 1°.- El presente reglamento es de observancia general - en toda la República y tiene por objeto proveer en la esfera administrativa, a la observancia de la - Ley Federal para prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental en lo que se refiere a la prevención y control de la contaminación ambiental originada por la emisión de ruidos provenientes de fuentes - artificiales.

Artículo 2°.- La aplicación de este reglamento compete al Ejecutivo Federal por conducto de la Secretaría de Salud y Asistencia, en coordinación en su caso con la Secretaría de Industria y Comercio.

El Departamento del Distrito Federal, y las demás autoridades que dependen del Ejecutivo Federal de los Ejecutivos de los Estados y de los Ayuntamientos, auxiliarán a las mencionadas anteriormente en la aplicación de este Reglamento, sin perjuicio de las atribuciones que le son propias.

Artículo 1°.- El Consejo de Salubridad General, podrá dictar las disposiciones generales, para prevenir y controlar la contaminación ambiental a que se refiere este Reglamento. Asimismo podrá proponer al titular del Ejecutivo Federal, el aumento o reducción de los valores límites permisibles de nivel de presión acústica, frecuencia y otras características del ruido que se señalan en este reglamento, cuando los adelantos tecnológicos o condiciones demográficas o ecológicas lo hagan recomendable.

Artículo 5°.- El Ejecutivo Federal dictará o promoverá ante el congreso de la Unión en su caso, las medidas fiscales convenientes para procurar la descentralización industrial con objeto de reducir la contaminación ambiental por ruidos, así como para facilitar a las industrias establecidas y a las que en lo futuro se establezcan la fabricación, adquisición e instalación de equipos y aditamentos que tengan por objeto evitar, controlar o abatir la contaminación provocada por la emisión de ruidos.

Para estos propósitos, las Secretarías de Hacienda y Crédito Público y de Industria y Comercio, realizarán los estudios conducentes, particularmente aquellos que tiendan a facilitar la fabricación de equipos o la importación de los que no se produzcan en el país; la exención o reducción de impuestos, la autorización para depreciar aceleradamente con fines fiscales, los equipos substituidos o de nueva adquisición y otras franquicias.

Artículo 6°.- La Secretaría de Salubridad y Asistencia, creará y presidirá una comisión Consultiva del Ruido en cada ciudad, conjunto urbano o conurbanismo, para estudiar y opinar sobre la prevención y control de la contaminación ambiental por ruido, en los términos de este Reglamento.

La comisión podrá dar la asesoría que le soliciten los interesados.

Artículo 7°.- Para la Integración de las Comisiones Consultivas, la Secretaría de Salubridad y Asistencia, invitará para que nombren un representante a:

- I.- Los Gobernadores de las Entidades Federativas.
- II.- Los Ayuntamientos o al Departamento del Distrito Federal en su caso.
- III.- La Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- IV.- El Congreso del Trabajo.
- V.- La Confederación de Cámaras Industriales y
- VI.- La Confederación de Cámaras Nacionales de Comercio.

Artículo 9°.- Los estudios, acuerdos y dictámenes de las Comisiones Consultivas, serán presentados a las autoridades competentes con el carácter de recomendaciones que se implementarán por dichas autoridades cuando sean viables para efectos de prevenir y controlar la contaminación ambiental originada por la emisión de Ruidos.

IV. 1 b).- Emisión de Ruidos

Artículo 10*- La Secretaría de Salubridad y Asistencia, en coordinación en su caso, con las demás dependencias del - Ejecutivo Federal, dentro de sus ámbitos de competencia, realizará los estudios e investigaciones necesarios para determinar:

I.- Los efectos molestos o peligrosos, en las personas, por la contaminación ambiental originada por - ruidos.

II.- La planeación, los programas y normas que deban ponerse en práctica para prevenir y controlar las - causas de contaminación ambiental por ruidos.

III.- El nivel de presión acústica, frecuencia duración y demás características de la contaminación - ambiental por ruido en las zonas industriales, comerciales y habitacionales.

IV.- La presencia de ruidos específicos contaminantes del ambiente en zonas determinadas, señalando cuando proceda, zonas de restricción temporal o permanente y

V.- Las características de las emisiones de ruido de algunos dispositivos de alarma o de situación que - utilizan las fuentes fijas y las móviles.

Artículo 12 - Para determinar si se rebasan los niveles máximos - permitidos establecidos, se realizarán mediciones según los procedimientos que se señalan en este Reglamento y en las normas oficiales aplicables.

Artículo 13.- Los dispositivos, aparatos electromecánicos o maqui

narias de uso doméstico, comercial y agropecuario - que en su funcionamiento emitan ruidos que causen - daño a la salud, deberán llevar una señal que así - lo indique La Comisión Consultiva, después de oír - la opinión de los interesados y previo estudio correspondiente, propondrá a las autoridades competentes cuáles aparatos recomienda que lleven la señal.

Artículo 14 - Para efectos de prevenir y controlar la Contaminación ambiental por ruidos, se establece como nivel - máximo permitido para la emisión de este contaminante proveniente de fuentes fijas el valor de 68 dB (A) entre las 6 y las 22 hrs., del día y de 65 dB (A) - entre las 22 y las 6 hrs.

Estos serán los valores medios, medidos en forma - continua o semicontinua durante un lapso no menor de 15 mín., en el perímetro del predio, utilizando un - decibelímetro normalizado, calibrado y en integración lenta, autorizado por la Secretaría de Industria y Comercio.

El plazo para cumplir los niveles máximos permitidos señalados en este artículo, será de seis meses a partir del inicio de la operación de la fuente fija.

Artículo 15 - Cuando por razones de índole técnica y socio económica, el responsable de una fuente fija encuentre no - factible cumplir con los límites señalados en el artículo anterior, deberá presentar a la Secretaría de Salubridad y Asistencia una solicitud de fijación de nivel máximo permitido, específico para esa fuente. En esta solicitud, el responsable de la fuente fija

indicará lo siguiente:

I.- Ubicación.

II.- Giro de la Actividad.

III.- Origen y Características del ruido que rebasa -
los límites señalados por el artículo anterior.

IV.- Razones por las que no considera factible redu
cir su emisión de ruido y

V.- Proposición de un nivel máximo permitido provi-
sionalmente.

El plazo para presentar esta solicitud, será de cua-
tro meses a partir del inicio de la operación de una
fuente fija.

Artículo 18 - Los locales o áreas de trabajo, dentro de los recin-
tos de industrias y talleres, se ubicarán o constru-
irán de manera que los ruidos que se produzcan no -
trasciendan los predios colindantes o a la vía públi-
ca, rebasando los niveles máximos permitidos confor-
me a este reglamento.

Artículo 19 - Al efectuarse los estudios para elaborar el plano re-
gulador de las poblaciones y señalarse las zonas in-
dustriales y comerciales del mismo, se tomarán en con-
sideración las disposiciones de este Reglamento para
prevenir y controlar la contaminación por ruido y las
opiniones de la Comisión Consultiva del Ruido.

Artículo 20 - En las fuentes fijas se podrán usar silbatos, campa-
nas, megavoces, amplificadores de sonido, timbres y
dispositivos para advertir peligro en situaciones de
emergencia, aún cuando se rebasen los niveles máximos
permitidos de emisión de ruido correspondiente duran-

te el tiempo y con la intensidad estrictamente necesarios para la advertencia.

Artículo 21 La Secretaría de Salubridad y Asistencia, en coordinación con las autoridades competentes, será la encargada de la asesoría y supervisión técnica de aquellos casos en que al realizarse obras públicas o privadas, y ponerse dichas obras en servicio u operación, contaminen el ambiente por la emisión de ruidos tomando en cuenta los horarios en que ellos se produzcan, así como las características técnicas de las mismas.

Artículo 26 - Para autorizar la ubicación, construcción y funcionamiento de aeródromos, aeropuertos y helipuertos públicos y privados, las autoridades competentes tendrán en cuenta las opiniones de la Secretaría de Salubridad y Asistencia y de la Comisión Consultiva del Ruido, en su caso, a fin de determinar:

- I.- La distancia a las áreas urbanas de la población.
- II.- Las soluciones de ingeniería que resultan convenientes, en particular las distancias y ubicación de las pistas de despegue y aterrizaje, así como de su intersección con las pistas de carreteo y las áreas de estacionamiento de los aviones y
- III.- Las características arquitectónicas de los servicios auxiliares.

Artículo 29 - Las nuevas instalaciones ferroviarias, incluyendo las vías y las estaciones dentro de las poblaciones, se ubicarán de conformidad con lo que al respecto señale la autoridad competente urbanística en la población

de que se trate y de acuerdo con el plano regulador en su caso.

En la construcción de andenes, salas de espera y de más servicios auxiliares, se aplicarán las normas técnicas de arquitectura y de ingeniería que resulten convenientes para abatir y controlar el ruido.

Artículo 34 - Para los efectos de este Reglamento, es de interés público la construcción de estaciones terminales de autotransporte que se ubicarán de acuerdo con normas urbanísticas, así como la construcción de libramientos, que eviten que los vehículos que usan las vías generales de comunicación atraviesen las ciudades.

Artículo 40 - La Secretaría de Salubridad y Asistencia en coordinación con las autoridades competentes, promoverá la elaboración de normas oficiales que contemplen en las nuevas construcciones los aspectos básicos de la contaminación ambiental por ruidos.

Artículo 41 Los ruidos producidos en casas habitación por la vida puramente doméstica, no son objeto de sanción. La reiterada realización de eventos ruidosos que molesten a los vecinos, no se considerará como actividades puramente domésticas y en tal caso la autoridad competente, probados los hechos motivo de la queja, aplicará la sanción que corresponda.

IV.2 FOCOS DE RUIDOS

IV.2 a).- Ruidos Exteriores. Los fenómenos sonoros con los que tropieza el hombre fuera de su vivienda ó lugar de trabajo, - es decir en el aire libre, son extraordinariamente diversos.

Antes de que llegara la era de las máquinas, los fenómenos y movimientos de la naturaleza, como son el viento, la lluvia, las tormentas, las voces de los hombres y los producidos por los animales, eran los que aparecían como ruidos.

Nuestra época, con su creciente industrialización y gran densidad de población ha añadido a los citados anteriormente nuevas fuentes de ruidos que sobrepasan a los primeros ampliamente en - duración e intensidad. En primer lugar hay que citar los modernos medios de comunicación por tierra, mar y aire, que pueden aparecer en todo lugar de nuestro radio de acción de la vida, en segundo lugar estan los ruidos producidos por las fábricas y que contribuyen considerablemente en el ruido de nuestras ciudades.

Entre los focos de ruidos que podemos mencionar como ejemplo de lo anterior, estan:

- a).- Ruido de Vehículos
- b).- Ruido de Tráfico sobre Rieles
- c).- Ruido de Barcos
- d).- Ruido de Aviones
- e).- Otros focos de Ruidos.

En este último punto, podemos considerar prescindiendo del ruido producido por la industria y por el tráfico, quedan todavía -

muchas fuentes de ruidos que influyen sobre la humanidad tanto en la ciudad como en el campo.

A continuación se citarán brevemente algunos ejemplos, aunque éstos a grandes rasgos pudieran aparecer como menos interesantes - para los afectados, tienen considerablemente gran importancia como lo acreditan entre otras cosas los numerosos pleitos que se han llevado a los tribunales.

Entre los ruidos que alcanzan su punto máximo por la noche, y en los días festivos, es decir, cuando el nivel de molestias en general es más bajo que lo normal, se cuenta el ruido producido por las fiestas populares (ferias), en tales fiestas (que en algunos lugares se realizan dos veces al año), se pueden comprobar a 100 - mts de distancia, intensidades de 80 a 120 dB, que duran hasta - bien entrada la noche, esto es análogo al ruido producido por una multitud de espectadores, ~~por ejemplo,~~ en un campo de fútbol, etc., que sucede por lo regular los domingos, perturbando las primeras - horas de la tarde. Como los campos de deportes están a menudo muy cerca de zonas habitadas, la molestia puede ser considerable. Las medidas realizadas a 200 m de distancia de un estadio que está rodeado de tribunas o un muro de 6 mts de altura, dieron unos valores extremos entre 80 y 120 dB en un partido con unos 40,000 espectadores.

En las zonas habitadas con superficies verdes o en las proximidades de parques, las máquinas de cortar césped accionadas a motor son frecuentemente focos de ruidos. Aún cuando hoy no ofrece dificultades técnicas, la construcción de amortiguadores de esca

pe, muchas de estas máquinas con motor de bencina, producen intensidades de alrededor de 90 dB a unos 20 mts de distancia. Las cortadoras de césped con motor eléctrico son más silenciosas en unos 15 dB. En el campo, el ladrido de los perros pueden constituir un ruido molesto.

IV. 3 PUNTOS DE VISTA ACUSTICOS EN LA PLANIFICACION DE CIUDADES.

En el transcurso de la historia se han dado muchas orientaciones que sirvieron como pauta para el urbanismo. Independientemente de que directrices sigue hoy el urbanismo, una condición fundamental tiene que ser el que "la nueva ciudad" cree unas condiciones que hagan posible a los habitantes, una vida humana, en el más amplio sentido. Entre los muchos factores y aspectos que tienen que considerarse para ello en la planificación uno de ellos es el ruido, no queremos decir que este factor ocupa un lugar pre dominante sobre otros, pero si se puede decir que si no atendemos como es debido este problema, la planificación urbana puede perder las metas o fines perseguidos.

Algunas medidas para la lucha contra el ruido, se pueden llevar a cabo sin que tengan que utilizarse medios adicionales importantes. Es natural que la planificación deba hacerse en forma que se consiga la máxima reducción del ruido. Otro caso es cuando las medidas exigen un gasto apreciable o tienen que lograrse a costa de otros inconvenientes, entonces hay que conformarse con lo exactamente preciso para lograr una solución al problema lo más económica posible.

De ello se deduce que tienen que fijarse para la planificación valores del nivel sonoro máximo que tengan que mantenerse en determinadas zonas de las cuales se pueda deducir la medida necesaria en las disposiciones de la lucha contra el ruido.

En la tabla siguiente IV.1 se indican valores de esta clase para zonas habitadas, que son las zonas que más precisan de la defensa de los ruidos. Los números en ella indicados son valores máximos para las intensidades medias que no deben ser rebasados bajo ninguna circunstancia. Estos valen sólo naturalmente para los focos sonoros que dependen del quehacer humano. Los ruidos de la naturaleza como murmullo de hojas, canto de pájaros, que a veces pueden ser más altos, raras veces se encuentran molestos.

TABLA IV.1

INTENSIDADES MEDIAS PERMITIDAS EN ZONAS HABITABLES

ZONA	DIA	NOCHE
De Viviendas	35 dB	17 dB
Mixta	30 dB	20 dB

Lo establecido por la tabla IV.1 es relativamente aproximado, ya que en ella no se presta atención a muchas características de los ruidos.

Cuáles son pues los ruidos con los que hay que contar en la planificación de la ciudad?. En esencia son los ruidos que provienen del tráfico y de la industria. La misión del planificador en relación con la "higiene del ruido" es entonces doble.

a).- Trazado, es decir coordinación especial oportuna de zonas de diferente empleo teniendo en cuenta las condiciones de propagación del sonido.

b).- Planificación técnica detallada, es decir aprovechamiento de los múltiples medios técnicos del urbanismo para la protección de ruidos.

Es aquí precisamente en la planeación de las nuevas ciudades donde se hace hoy necesaria la participación de un profesional su-
za-mente capaz, que pueda resolver este problema de una manera lógica y adecuada, este profesional es el Ingeniero Civil, ya que cuenta con los conocimientos y criterios necesarios para tal fin.

En este caso el trabajo del Ingeniero Civil, comienza desde el estudio económico para la planificación de estas nuevas ciudades, hasta la construcción y funcionamiento de las mismas. Ya en el punto que a nosotros nos interesa, que es el control del ruido ó la disminución del mismo dentro de estos nuevos centros urbanos, el Ingeniero Civil determina claramente las zonas comprendidas dentro de éste gran núcleo, separa claramente lo que es la zona habitacional, la zona comercial, la zona industrial, etc.

El criterio del Ingeniero Civil se basa en la eficiencia y economía del servicio, diferenciando en esto del criterio del Arquitecto cuyo fin principal es el del acabado y presentación del trabajo ó -

servicio. Como se dice anteriormente, el problema del ruido no es predominante sobre otros muchos que se tienen en las grandes ciudades, pero es muy importante considerarlo a la hora de hacer el estudio y planificación de estas nuevas ciudades. El Ingeniero Civil debe conocer las condiciones de propagación del Sonido dependiendo estas del origen que tiene este sonido; además debe saber con que elementos técnicos puede contar para un mejor control del problema.

IV 3 a) LOCALIZACION DEL EDIFICIO

Desde el punto de vista de aislamiento acústico, a veces no es posible ubicar un edificio en el lugar más apropiado, sino que por el contrario, se construye en una zona ruidosa. En casos como éste, deben tomarse medidas para eliminar al máximo posible las ventanas o proveerlas con vidrio doble, procurando eliminar la transmisión del ruido por las juntas y muros.

Cuando un edificio esta ubicado cerca de vías de ferrocarril o carreteras de tráfico pesado, deberá evitarse la transmisión de las vibraciones a través de la cimentación del edificio.

Además de una regularización general del tráfico, hay todavía otro factor importante para la molestia del ruido, o sea, la posición y configuración del edificio en cuestión. En este aspecto la construcción moderna ha traído consigo un agravamiento por la tendencia de los espacios abiertos y la diseminación de bloques de viviendas. Mientras que la parte posterior de la casa de habitaciones tranquilas, es decir, en el seno de la zona de sombra del edificio en la construcción abierta con casas aisladas, están es-

tas, rodeadas de ruido por todas partes. Por esto la construcción en hileras, en su forma más sencilla, es decir, con bloques rectos perpendiculares al eje del tráfico, no es conveniente en las proximidades de las grandes arterias de circulación. Sin embargo, hay muchos ejemplos de una combinación en las construcciones a lo largo de la calle y de hileras escalonadas, lo que indica que los principios de la Construcción Moderna (Arquitectura) pueden armonizar con las exigencias de la lucha contra el ruido.

En edificios especiales es posible todavía una forma cerrada para el edificio que favorece el aislamiento contra ruidos o evita la salida de los mismos al exterior. Así pueden construirse por ejemplo casas destinadas a una familia alrededor de un patio y hoteles constituidos por edificios de varias alas alrededor de un gran patio interior. En las escuelas se puede mantener alejado de la vecindad el ruido que producen los niños durante el recreo, por medio de cuerpos que cierran el patio. Desde el punto de vista de la acústica sería de desear que junto a la planificación de la ciudad del automóvil, hubiera una planificación de la ciudad del avión, que no sólo fuera un trabajo académico, sino que respaldada legislativamente entrara en práctica.

Por último debe hacerse incapié en que naturalmente toda planificación ha de partir de bases concretas con nuestros conocimientos actuales, es posible calcular o predecir con suficiente exactitud determinadas intensidades. Por esto como base para la ejecución de todo proyecto municipal, debe realizarse también un "Plano de Intensidades de Sonido", en el han de localizarse los

focos sonoros de importancia, según su intensidad y zona de extensión. Una vez en posesión de una u otra de estas representaciones pueden determinarse los lugares apropiados para zonas de viviendas y construcciones que requieran la protección contra el ruido, o las modificaciones convenientes en la situación de los focos sonoros.

La distribución de las habitaciones aunque generalmente se deben a la funcionalidad arquitectónica, no deben descuidarse - tampoco la conveniencia de alejar de las fuentes de ruido, las habitaciones o áreas donde se requiere mayor tranquilidad.

IV.4 FOCOS SONOROS EN LOS EDIFICIOS (Ruidos Interiores)

Aún cuando en las inmediaciones de una casa no se encuentren focos sonoros molestos, o aunque el aislamiento de la casa contra ruidos exteriores sea extraordinariamente bueno, aún quedan en el interior de la casa, muchos productores de ruido que pueden motivar incomodidades y molestias.

El problema del ruido en las viviendas está donde la mayor parte de la población vive; en casas de alquiler con muchos vecinos, en lugar de en colonias espaciales de casas de una vivienda.

Este punto repercute muy perjudicialmente; la tan extendida opinión de las personas que consideran sólo ruido a los sonidos que otros producen, pero no a los propios. Contra esta posición consecuencia sobre todo de la poca reflexión, mala educación o falta de buena voluntad, no puede combatirse lo suficiente, pues sin un cambio del comportamiento humano, toda lucha contra el -

ruido es de un alcance muy limitado, ya que en el mejor de los casos, sólo se obtienen un éxito parcial.

Para la molestia que ocasiona un ruido, no son decisivas solamente la intensidad y la composición de frecuencias, sino que influyen también el contenido de información del ruido y el estado psicológico del oyente. Así por ejemplo, una conversación que apenas se oiga de la habitación contigua, pero de la que aún puedan entenderse algunos párrafos, puede ser más molesta que un ruido neutro 10 dB, más alto. O se encuentra molesto el piano que se oye de otra vivienda mientras que por el contrario, no molesta la máquina lavaplatos que es aproximadamente 20 dB, más alta.

Estos factores sin embargo, no pueden ser nunca objeto de medida objetiva, por lo cual no los tomaremos más en cuenta, limitándonos a los valores medibles. Para ello dividiremos los ruidos corrientes de las viviendas en las cuatro categorías siguientes:

- a) Ruidos producidos por el hombre (hablar, cantar, interpretar música).
- b) Ruidos de los modernos medios de comunicación (radio, teléfono, televisión).
- c) Ruidos de máquinas domésticas.
- d) Ruido de Instalaciones.

La Tabla IV.2 da un resumen de ellos.

Tanto la zona de intensidad como el ámbito de frecuencias de los sonidos producidos por el órgano humano de la voz, son bastante grandes.

Así al llamar en voz alta se puede producir un nivel de has

ta 100 dB y en el canto se puede cubrir una zona de frecuencias de 85 a unos 900 Hz con ello no se trata ya de ruidos usuales en las viviendas. Para conversación normal se puede calcular con intensidades entre 30 y 40 dB, al hablar en voz alta entre 35 y 45 dB.

Los componentes de frecuencia con considerable distribución de energía, quedan en la conversación, dentro de la zona de 100 a 600 Hz. Al cantar las intensidades quedan entre 30 y 45 dB, nos referimos solamente al cantar en casa no profesionalmente.

TABLA IV. 2

Resumen de las Intensidades de Algunos Focos Sonoros en Viviendas.

Voz Humana:

Conversación normal	55-70	dB
Conversación voz alta	70-85	dB
Gritar Alto	80-100	dB
Cantar	60-85	dB

Instrumentos Musicales:

Piano	60-95	dB
Violonchelo, violín, flauta	60-90	dB

<u>Audiciones de Radio</u>	60-85	dB
----------------------------	-------	----

Máquinas Domésticas:

Lavadora 1 mt de distancia	65	dB
Lavaplatos 1 mt de distancia	80	dB
Licuada	75	dB
Aspiradora	70	dB
Refrigerador	40	dB

Ruido de Instalaciones

Al llenar bañera	75	dB
Lavador a presión W.C	75	dB

IV. 5 PLANIFICACION TECNICO-ACUSTICA EN EL INTERIOR DE VIVIENDAS

La práctica ha demostrado que si tenemos en cuenta los diferentes canales de transmisión del sonido, así como los focos sonoros en el interior de las viviendas, se consiguen buenas soluciones acústicas de los problemas de construcción correspondientes que se pueden armonizar bien con otras metas de planificación. Si por el contrario no se les tiene en cuenta, sólo se puede establecer un estado acústico satisfactorio con un gasto considerable. Por esto es imprescindible el que ya los primeros proyectos para una casa se consideren debidamente las conveniencias acústicas.

En el punto de partida de las consideraciones pertinentes, - está la clasificación de las habitaciones según su efecto perturbador y su sensibilidad acústica. En las viviendas, los baños y en parte las cocinas, son las habitaciones en las cuales se originan fuertes ruidos, pero que asimismo tampoco exigen ninguna gran protección acústica "habitaciones ruidosas". Por el contrario - los cuartos de estar y los dormitorios, son las llamadas "habitaciones tranquilas" que exigen la máxima protección acústica. Recintos ruidosos, situados fuera de las viviendas, son las cajas de escaleras, garajes en la planta baja o en el sótano, restaurantes o pequeños talleres etc. En los edificios altos tenemos además las molestias de las instalaciones técnicas como ascensores, cajas para la recolección de basura, salas de bombas similares.

La planificación acústica propiamente dicha comienza con la determinación de la posición de las distintas habitaciones entre

sí, a fin de prever sus molestias acústicas recíprocas. Como principio más importante y comprensible debe sentarse que las habitaciones ruidosas no han de limitar con habitaciones sensibles al ruido.

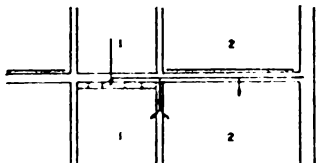
En la estructuración de la planta, hay que procurar por lo tanto, que los baños y cuartos de aseo no se coloquen junto a los cuartos de estar y dormitorios, sino de ser posible, estén protegidos por una habitación menos sensible, como por ejemplo vestíbulos, cocinas o cuartos útiles de limpieza. Es recomendable atender a estos consejos, aunque se acepte la molestia del baño propio que limita con el dormitorio; pues a consecuencia de la transmisión del sonido, a lo largo de las tuberías, se molesta también a los dormitorios colocados debajo o encima. Debe evitarse en cualquier circunstancia la instalación de tuberías en paredes de separación de una habitación tranquila o sujetarlas a ella, pues en casi todos los casos, hay que contar con ruidos de circulación y de las armaduras. Igualmente hay que tener en cuenta las molestias de las cajas de escaleras, instalaciones del ascensor, cajas para basura, etc., es decir, que las habitaciones a proteger no deban limitar con instalaciones de esta clase.

En otro tipo de casas donde no hay habitaciones una bajo otra, ejemplo casas de una sola familia, los problemas técnicos del ruido son menos críticos, ya que no están afectados por las molestias acústicas, personas extrañas a la familia. Sin embargo, la práctica ha demostrado que en casa de una sola familia, pero con muchos miembros, no debe renunciarse sin más a una buena protección acústica en la construcción, ya que también dan lugar a quejas dentro

de la misma familia, las molestias causadas por el ruido.

En las filas de casas para una sola familia o en las casas dobles hay también que pensar en el aislamiento acústico de las casas vecinas, en este caso las exigencias son especialmente severas, ya que cada propietario espera con razón, que las ventajas que ofrece la casa para una sola familia se cumplan también en el aspecto acústico.

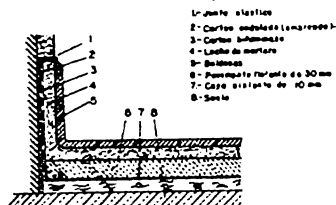
En la planificación acústica, hay que abarcar mentalmente toda la instalación, sino puede suceder que por utilización irreflexiva de una construcción en sí correcta, no se alcance el efecto deseado. Así por ejemplo, en el caso representado en la fig. IV.1 se ha intentado remediar el insuficiente aislamiento al ruido de la pisada entre ambos cuartos de baño, colocando bajo este techo una capa adicional. Como se ve en la figura, esta capa impide la radiación del ruido de las pisadas contra el suelo al cuarto de baño inferior, sin embargo, la vivienda inferior es perturbada ya que se transmite sonido a las habitaciones inferiores por conducción longitudinal en la pared y techos.



(fig. IV.1)

1 - Bata con techo adosado
2 - Habitación con pavimento flotante

El problema planteado en la figura IV.1 podrá también resolverse de manera más segura colocando en el cuarto de baño, un pavimento flotante. Sin embargo, este recurso se procura eludir en la práctica, ya que el aislamiento de la humedad necesaria en un baño se puede realizar, entonces más fácilmente. Se indicará de una manera formal que el aislamiento de la humedad y el pavimento flotante se puede combinar de una manera satisfactoria, una de las muchas posibilidades se expone en la fig. IV.2



(fig.IV.2)

Entre los recintos ruidosos en las viviendas, se cuentan las cajas de escaleras, ya se ha indicado que suele resultar insuficiente la protección contra el ruido de pisadas en las escaleras de las viviendas contiguas. Esto se puede remediar construyendo las viviendas sin empotrar peldaños en las paredes y también por medio del alfombrado. Otro defecto se debe a la sonoridad de la caja de la escalera que tiene como consecuencia, la propagación -

de los ruidos a muchos pisos y con audibilidad muy elevada. Como las puertas de las viviendas frecuentemente solo poseen un aisla
miento acústico moderado, penetra también por esta causa el rui-
do en los pisos. Se pueden mejorar considerablemente estas condi-
ciones por medio de revestimientos de suelos, absorbentes del so-
nido, pero a causa de la economía son todavía poco corrientes.

Los costos excesivos de una cubierta absorbente del sonido
no serían tan altos si se pudiera ahorrar con su empleo la limpie-
za del techo. En los edificios elevados son necesarios recursos
adicionales para amortiguar los ruidos ocasionados por las insta-
laciones comunes. Se trata en primer lugar de ruidos corpóreos que
proceden de ascensores, cuartos de máquinas, de bombas y similares.
Mientras que es prácticamente imposible impedir la propagación del
sonido, material en la estructura del edificio, por medio de ca-
pas aislantes se logra con relativa facilidad disminuir notable-
mente la excitación del edificio mediante el aislamiento de los -
correspondientes grupos.

Una casa también tiene que tener suficiente protección acús-
tica contra las inevitables fuentes de ruidos exteriores. Como -
las paredes exteriores se construyen en casi todos los casos, ma-
cizas y pesadas. Tienen por lo tanto, un elevado aislamiento so-
noro, el aislamiento hacia el exterior viene determinado sobre to-
do por las ventanas.

Las experiencias prácticas han demostrado que el espesor de
los cristales tiene en general escasa influencia en el aislamien-
to, pues son los defectos de las ventanas los decisivos. De ello

se desprende que la necesidad de elegir en la planificación, venta nas tan herméticas, que el aislamiento de los cristales logre su plena eficacia.

IV.6 FACTORES QUE DETERMINAN LA TRANSMISION DEL SONIDO A TRAVES DE PISOS Y MUROS.

Como se ha visto, el ruido puede ser transmitido por los siguientes medios:

1.- Originado por el medio ambiente y transmitido a través de aberturas tales como puertas o ventanas abiertas, grietas a través de puertas y ventanas, tubos de agua, ductos de ventilación, etc.

2.- Como sonido originado en el medio ambiente y transmitido a través de muros y techos.

3.- Como sonido originado por la vibración de la estructura - transmitida por ella misma.

La manera de prevenir la transmisión del sonido, debido a la primera causa es evidente, pero no siempre es fácil de llevarse a cabo.

Sin embargo, las grietas pueden reducirse a un mínimo y cuando se desee un alto grado de aislamiento de sonido, las ventanas - de ser posible, deben ser eliminadas.

Para completar esto, consideremos algunos de los factores que determinan la transmisión del sonido a través de una habitación. - Considérese por ejemplo, como se transmite el sonido a través de una hoja de vidrio, la energía de sonido es transmitida a una cara del vidrio por medio del aire. El impacto de las subsecuentes on

das sonoras sobre el vidrio, origina que de éste surja una vibración similar, a la de un diafragma y debido a ella la energía se transmite al aire que se encuentra al lado opuesto del vidrio. Eso a su vez depende fundamentalmente de cuatro factores:

- a) La energía total inicial que llega al vidrio.
- b) La masa del vidrio.
- c) La rigidez del vidrio.
- d) El sistema por el cual los bordes del vidrio están sujetos al marco de la ventana que le sostiene.

IV. 6 a) RUIDOS CAUSADOS POR IMPACTOS

Este tipo de ruidos (pasos, movimientos de muebles, maquinaria, etc.), es lo más difícil de aislar. Una de las soluciones, - más eficaces que se ha logrado probar, es aquella en la que la losa de concreto se le agrega en la parte superior un piso flotante y en la parte inferior un falso plafón. Si al piso se le agrega una alfombra, es aún mucho mayor la pérdida de la transmisión del sonido causado por los impactos. Tratándose de equipo, la forma más eficaz de reducir la transmisión, es colocando bajo la base de la maquinaria o equipo, aisladores o resortes que ayuden a disminuir las vibraciones.

IV. 6 b) EFFECTOS CAUSADOS POR ABERTURAS

Con frecuencia una puerta o una ventana transmiten más ruido que el resto de la superficie, aún cuando sus bordes se hayan sellado cuidadosamente. Por esta causa a veces resulta inútil que

se pretende mejorar la calidad aislante de un muro, mientras no se haya eliminado de dicho muro la ventana o la puerta, o tal vez mejorado sus características de las mismas.

Al tratarse de las puertas y donde se requiere privacidad, se recomienda usarlas de madera sólida o con relleno de un material elástico como fibra de vidrio. Todas las ranuras deben sellarse con materiales suaves tales como bandas de hule.

Considerando las ventanas, es recomendable el uso del vidrio grueso. La instalación de vidrios dobles, contribuye notablemente a la disminución de la transmisión del sonido.

IV. 6 c) INSTALACIONES SANITARIAS

Para obtener una mínima transmisión de sonido, es recomendable principalmente:

- 1.- Sellar los orificios donde la tubería atraviesa las paredes o piso.
- 2.- Aislar la tubería de las estructuras mediante un material adecuado que bien podría ser la fibra de vidrio.
- 3.- Proyectar el curso de las tuberías de agua en el edificio para evitar el ruido en lugares donde se requiera un alto grado de tranquilidad como pudieran ser los dormitorios, cuartos de estudio, etc.
- 4.- Proveer cámaras de aire en cada salida de tubería para eliminar el martilleo del agua al detenerse bruscamente el flujo de la misma.

IV. 6 d) ELIMINACION DE RUIDO EN DUCTOS DE VENTILACION

La gran mayoría de los ductos constituyen un conducto ideal para la transmisión del sonido, por lo que se hace necesario tomar medidas para evitarla.

Una forma empleada para reducir la transmisión del sonido a través del ducto, es colocando al aislamiento en su interior, dicho aislamiento deberá colocarse en toda la longitud del ducto, - en esta forma se eliminarán los sonidos generales en la unidad - central o ventilador.

Igualmente, mientras menos es la superficie de la sección - transversal del ducto, la energía disminuirá más rápidamente.

Es aconsejable que la unión entre el ducto y el ventilador - se efectúe por medio de una camisa de manta que evita el contacto de metal a metal que produciría la transmisión de la vibración - del motor y ventilador a través del ducto. Cuando el ducto atravesase algún muro conviene aislar con algún material suave la unión entre el perímetro del ducto y el muro. El material que se use para recubrir interiormente deberá resistir la abrasión causada por la fricción del aire con la superficie interior del aislamiento.

Se aconseja un recubrimiento adicional de neopreno o de otro recubrimiento de los que existen en el mercado, y que llevan las mismas características que el neopreno. El aislamiento se fija al interior del ducto, por medio de un adhesivo plástico, pijas o - clavos metálicos.

IV. 6 e) MUROS HOMOGÉNEOS Y MUROS NO HOMOGÉNEOS

Después de muchas experiencias se ha comprobado que el peso - de un muro por unidad de área es el factor más importante para determinar su eficiencia aislante.

Debe prestarse atención al hecho de que el factor de aislamiento de sonido (pérdida de transmisión de decibeles), para muros homogéneos no es directamente proporcional al peso por unidad del área, pero se incrementa con menos rapidez que este factor, siendo en efecto proporcional al logaritmo del peso por unidad de área. Esto significa que un alto grado de aislamiento de sonido solamente puede obtenerse con muros extraordinariamente gruesos, y esto podría ocasionarnos aumentos considerables en las cargas que va a soportar la estructura y por consiguiente un costo mayor en la edificación.

Se ha encontrado que el valor aislante de un muro de determinado peso de unidad de área, puede incrementarse casi lo que se desea si este muro es construido en dos o más capas.

La superficie sobre la cual choca el frente de onda, es puesta en vibración pero la energía desde esta superficie tiene que ser transmitida a la siguiente y así sucesivamente. Con una combinación apropiada de materiales, esta transmisión de energía puede hacerse muy pequeña y mientras más pequeña sea dicha transmisión, - mejor aislante de sonido será el muro.

Sin embargo, para fines prácticos es difícil y complicado predecir cual será el valor de la pérdida de transmisión aún cuando existen algunos datos al respecto de sistemas de construcción que

no se siguen en nuestro medio.

IV.6 f) PANELES DIVISORIOS

Existe la creencia de que el valor aislante de una división puede incrementarse en todos los casos, usando únicamente un material de relleno que ocupe el espacio de aire del "panel". Independientemente dicho relleno actuará como un aislante térmico, pero no siempre como un aislante sonoro, ya que en algunos casos el espacio de aire actúa como mejor aislante que muchos materiales.

Si el relleno es de gran solidez, perjudicará las características de aislamiento de sonido.

Si el relleno es de un material elástico como fibra de vidrio, la transmisión de la vibración sonora de cara a cara del - pánel se podrá reducir enormemente.

En edificios de oficinas, muy a menudo se observan que las divisiones entre las oficinas, están construidas por paneles de madera o muros de mampostería, los cuales solamente llegan hasta la altura del falso plafón y no hasta la losa de concreto, con - esto se está permitiendo que el sonido entre o salga de una oficina a través del "pleno" (cámara de aire comprendida entre el - falso plafón y la losa de concreto). A pesar de que los paneles están rellenos de un material acústico apropiado. En estos casos es recomendable hacer que el muro divisorio o pánel, llegue hasta la altura de la losa de concreto de los techos, evitándose así que se escuchen sonidos de una oficina a otra.

IV. 6 g) PISOS Y MUROS DE MAMPOSTERIA

Cuando se necesitan muros de carga que además reúnan características de aisladores de sonido, se ha demostrado que si un espesor dado se convierte en dos muros separados por un espacio de aire, de tal forma que la suma de espesores sea igual al espesor original, las propiedades de aislante acústico del muro se mejoran notablemente. Por otra parte el usar materiales de relleno entre los dos muros, es de poca importancia para mejorar la calidad aislante de la división.

Se pueden mejorar también las propiedades aislantes sonoras de un muro de tabique, agregando en ambas caras listones de madera sobre los cuales se fija metal desplegado y un aplanado. El factor importante de este tipo de muro, es sostener el aplanado fuera de contacto con el muro en toda superficie.

Para el caso de pisos sólidos de mampostería o concreto, puede mejorarse su aislamiento acústico, usando un piso flotante y - en falso plafón sostenido por alambres y no por tirantes rígidos.

IV. 7 LA PROTECCION DEL RUIDO EN LA OPERACION CONSTRUCTIVA.

Es aquí donde se hace más necesario un sistema que permita un mayor control del ruido ya que en la operación constructiva, es donde se producen una gran cantidad de éstos, de diferente origen variando este de acuerdo a la operación que se trate, pudiendo ser Excavación a Máquina, uso de explosivos, cimbrado, montaje, etc. Existen diferentes aparatos y maquinarias que producen ruidos con

una intensidad mucho muy alta, como por ejemplo, la perforadora que llega a producir ruidos con intensidades de hasta 130 dB y estos como hemos visto en el punto I.7, entran ya en la escala que se conoce como umbral de dolor. Y así como el caso anterior, existen muchos otros equipos en la construcción que producen ruidos, - con intensidades mucho muy elevadas que como se vió en el primer - capítulo, estos pueden llegar a producir trastornos bastante graves a los trabajadores.

Otro de los orígenes de grandes volúmenes de ruido en estas operaciones, es el uso en muchos de los casos de grandes volúmenes de explosivos, que producen ruido con una intensidad mayor de los 130 dB. En especial en este caso, cuando el uso de explosivos se usa en túneles, así como el ruido de la barrenación, de los camiones cuando éstos existen, etc., en estos sitios, el problema se agrava aún más porque el volumen de ruido aumenta considerablemente con la reflexión que se produce del volumen original en las paredes del mismo túnel.

En general, las molestias y trastornos ocasionados por el ruido son mayores si estos ruidos se producen en locales cerrados debido a la reflexión del sonido que ya hemos estudiado anteriormente, por esta razón podemos decir que aunque en la operación constructiva se producen bastantes ruidos de una gran intensidad, los daños causados son mínimos comparables con los que deberían causar por ser estas operaciones generalmente a cielo abierto, aunque no con esto queremos decir que no son tan perjudiciales y debemos por lo tanto, contar con medidas que ayuden a disminuir los efectos -

ocasionados.

Por esto es recomendable el uso de elementos de seguridad - que en este caso son las orejeras para evitar los trastornos y -- problemas ocasionados por un volumen excesivo de ruido. Entre - los trabajadores de la construcción, los trastornos más comunes - que se tienen a causa del ruido son los siguientes:

- a) Trauma Acústico
- b) Sorderas Profesionales
- c) Neurosis

El trauma acústico es producido por un ruido sorpresivo, brusco muy intenso, capaz de provocar ruptura de la membrana del tímpano, vértigo y caída por desequilibrio en la posición de pie.

Las sorderas profesionales son el producto constante y repetido de ruidos que se escuchan diariamente en el lugar de trabajo.

Las neurosis se presentan en individuos predispuestos a dichos padecimientos, representando el ruido el factor desencadenante o coadyuvante. La causa determinante o primaria es el miedo a la soledad, el complejo de culpa y el desagrado a la vergüenza.

Cuando el trabajador expuesto a grandes ruidos es víctima de cualquiera de estos síndromas puede aparecer la neurosis como riesgo de trabajo.

CONCLUSIONES

Podemos concluir después de estudiar los Capítulos anteriores, que el ruido ha constituido uno de los problemas más grandes de contaminación ambiental, que ha tenido el hombre en toda su existencia. Desde la época más antigua hasta nuestros días, existen referencias que nos hablan sobre este fenómeno, sin embargo, a pesar de que las molestias ocasionadas por el ruido eran citadas ya desde antes de la era cristiana, no es sino hasta hace relativamente poco tiempo que este problema preocupó a los hombres de ciencia.

Con la revolución industrial, llegan aparejados un sin número de molestias ocasionadas por el ruido producido por las grandes maquinarias, comienza el hombre a perder la relativa tranquilidad con que contaba, posteriormente aparecen los modernos sistemas de transporte de todas clases como son: los aviones, automóviles, autobuses, etc., aumentando a esto el gran auge industrial que se tiene, hacen del problema del ruido un problema que hace necesaria la intervención gubernamental y en algunos países, se dictan leyes que tratan de frenar el acelerado crecimiento del problema.

En las construcciones modernas se debe tomar en cuenta con bastante interés los daños que les puedan ocasionar a éstas, las grandes intensidades de ruido con las que contamos sobre todo en las ciudades de gran magnitud tanto en tamaño como en población, como lo es la nuestra.

Como se ve, el Ingeniero o Arquitecto que proyecte una ciu

dad, debe contar o realizar no sólo los planos o estudios ya conocidos como pudieran ser topográficos, hidrográficos, etc., sino que ahora es necesario contar con el plano regulador donde se localicen los focos de ruidos que va a tener la nueva ciudad, así como dotar de las medidas necesarias a todas las edificaciones que permitan - contrarrestar los efectos que ocasionaran en ellas las transmisiones de sonido. Debe pensarse así mismo, que si el ruido ocasiona en las edificaciones grandes daños como pudieran ser vibraciones, rotura de cristales, etc., en el ser humano estos daños son aún más graves ya que llegan a perjudicar de tal manera al individuo que éste llega a sufrir trastornos tanto psíquicos como patológicos e incluso físicos. Por lo cual es necesario que todos contribuyamos a disminuir de una manera razonable este fenómeno, entre algunas de las muchas recomendaciones que se pueden hacer con este fin tenemos:

- No abusar del claxon.
- No usar mofles ruidosos o llevar el escape abierto.
- Evitar los sonidos mayores de 85 dB.
- Proteger nuestras edificaciones de materiales que nos permitan contrarrestar este fenómeno.
- Dotar a las ventanas, cuando sea necesario, de vidrios dobles o que tanto puertas y ventanas se encuentren siempre en buenas condiciones, etc.

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

"RUIDO"
Edición Española
Mazota Sagardía J.P.

"RUIDO"
Vitro-Fibras.

"LA CONTAMINACION"
Editorial Salvat
Grandes Temas No. 1

"EL AIRE EN QUE VIVIMOS"
James Marshal

"FISICA Y TECNICA EN LA LUCHA CONTRA EL RUIDO"
Günther Kurtze.
Edición URMO.

"RUIDO-CONTAMINACION"
Kerbec M.J.

"RUIDO EFECTOS FISIOLOGICOS Y PSICOLOGICOS"
Jenkins S.H.

"RUIDO-MEDIDAS PRACTICAS DE DISEÑO DE INGENIERIA
PARA DISMINUCION DEL RUIDO"
Jenkins S.H.

"LEGISLACION AMBIENTAL DE MEXICO"
Subsecretaría de Mejoramiento del
Ambiente.
México 1977.

"ACUSTICA"
Cramer
Tomo III

"A.B.C. FISICA"

Rincón

Edición Litusa

"CONTAMINACION"

García Cazaros R.H.

U.A.N.L. 1974