

6086

Facultad de Ingeniería

DESCARTE

Aislamiento y Acondicionamiento Acústico de Edificios

T E S I S

Que para obtener el título de :
INGENIERO CIVIL
p r e s e n t a :
SERGIO YAÑEZ BUCIO





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

DEDICATORIAS

A mis Padres:

Alfredo y Julia

con gratitud y respeto

A mis Hermanos:

Alberto

Virginia

Alfredo

Raúl

Teresa

Yolanda

Javier

A Lulú

con amor.

Al Ing. José I. Ruiz Barra

Con gratitud.

A mis Maestros

A mis Amigos
y familiares.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-240

Al Pasante señor SERGIO YAÑEZ BUCIO,
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. Ignacio Ruíz Barra, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"AISLAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO DE
EDIFICIOS"

Introducción

- I. Generalidades
- II. Los ruidos aéreos
- III. Ruidos de impacto y ruidos de las instalaciones
- IV. Materiales acústicos
- V. Acondicionamiento acústico y conclusiones

Ruego a usted 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, a 18 de noviembre de 1976.
EL DIRECTOR

ING. ENRIQUE DEL VALLE CALDERON

b.b.
EVC/GSA/ser

INDICE GENERAL

	Página
INTRODUCCION	
CAPITULO I	
GENERALIDADES	1
CAPITULO II	
LOS RUIDOS AEREOS	33
CAPITULO III	
RUIDOS DE IMPACO Y RUIDOS DE LAS INSTALACIONES	56
CAPITULO IV	
MATERIALES ACUSTICOS	84
CAPITULO V	
ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO	106
CONCLUSIONES	126
ANEXO "A"	128
BIBLIOGRAFIA	132

INTRODUCCION

Uno de los precios más altos que tiene que pagar la humanidad por su crecimiento es, la contaminación, hoy en día se habla de contaminación de los ríos, mares, smog, ruidos, etc.

La Ley Federal para prevenir y controlar la contaminación ambiental dice en su artículo 4, inciso b) lo siguiente:

Contaminación es la presencia en el medio ambiente de uno o más contaminantes que perjudiquen o molesten la vida, la salud y el bienestar humano, la flora y la fauna, siendo un contaminante lo definido en el mismo artículo inciso a):

Contaminación es toda materia o substancia tales como humos, gases y otros que al incorporarse al aire o tierra modifiquen sus características naturales, así como toda forma de energía como calor, radioactividad, ruidos que al operar en el aire, agua o tierra altere su estado -

normal.

Como se ve el ruido es un contaminante ambiental ya que perjudica y molesta la vida, la salud y el bienestar humano.

Pero obviamente el problema del ruido no es un problema actual, desde todos los tiempos el hombre siempre ha buscado un lugar donde pueda reposar, estudiar o escuchar música en un ambiente acústicamente favorable para ello.

El objeto del presente trabajo es reunir de una forma práctica los métodos para evitar el problema de los ruidos dentro de los edificios, dividimos el trabajo en dos partes:

- 1.- Aislamiento Acústico. Que consiste en impedir que los sonidos se propaguen de un lado a otro o por lo menos que al transmitirse pierdan la mayor parte de su intensidad.
- 2.- Acondicionamiento Acústico (o Corrección Acústica). Se refiere al mejoramiento de la audición de los sonidos que interesan a la música o a la palabra en el interior de un local, también se refiere a la reducción de la elevada intensidad acústica de ciertos locales, al objeto de lograr un ambiente acústico favorable.

En el primer capítulo se mencionan las propiedades, características y mediciones del ruido, los dos siguientes tratan del Aislamiento Acústico, tanto los transmitidos por vía aérea (Capítulo II) como los trans-

mitidos por impacto y por instalaciones del edificio (Capítulo III), en el Capítulo IV se mencionan algunas propiedades físicas y químicas y acústicas de los materiales absorbentes que se utilizan para resolver el problema del Acondicionamiento Acústico, (Capítulo V) para finalizar se mencionan breves conclusiones y consejos prácticos que tratan de resolver este problema que cada día adquiere características de mayor peligrosidad.

CAPITULO I

GENERALIDADES

EL RUIDO

EL SONIDO

VELOCIDAD DEL SONIDO

VIBRACIONES INFRA Y ULTRASONORAS

INTENSIDAD ACUSTICA

MEDIDA DE LOS RUIDOS

SONORIDAD

LINEAS DE TRANSMISION

DAÑOS QUE OCASIONA EL RUIDO

DISPOSICION DE PLANOS Y URBANISMO

CAPITULO I
GENERALIDADES
EL RUIDO

Cada día se torna más difícil que las grandes y medianas poblaciones sean humanamente habitales. El ruido producido por vehículos, aviones y por los mismos habitantes, producen en estos últimos una serie de trastornos psíquicos y somáticos irreversibles.

Dada esta situación se promulgó recientemente en México, publicado en el diario oficial el 2 de enero de 1976, el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación ambiental originada por la emisión de ruidos (ver Anexo A).

Si buscamos una definición de ruido nos encontramos un sinnúmero de descripciones, en el Artículo 76 del Reglamento antes citado lo definen como "todo sonido indeseable" esta definición está sujeta a discusiones, la más importante sería el concepto de deseabilidad, lo que para una persona un sonido sea ruido, puede ser que para otra no lo sea, puede citarse co

mo ejemplo la música moderna para unos es sonido agradable para otros es ruido, por lo que se llegaría a la conclusión que el ruido es un concepto subjetivo, tomando en cuenta que cuando una comunidad manifiesta su indeseabilidad puede adquirir un concepto colectivo y es cuando el ruido cobra un carácter de importancia social.

La deseabilidad del ruido a nivel individual y comunal depende de la idiosincracia de ellos, lógicamente estos factores idiosincráticos varían de persona a persona y de comunidad a comunidad, entre los cuales podemos mencionar: Educación y estructura social, Características Geográficas y Climáticas, Etnográficas, Ecológicas, Hábitos de vida o trabajo, Sensibilidad física y psicológica, Mística, Religiosidad y hábitos de vida o trabajo entre otros.

El ruido es consecuencia natural del acto humano, debido que todo lo que se mueve produce ruido, en muchas ocasiones el trabajo es el principal productor de ruido, su indeseabilidad es incuestionable, pero su causa necesaria.

Estudios realizados en Norteamérica señalan que el nivel sonoro admisible aumenta con el grado de civilización: En América el nivel de ruido de ambiente tolerado es más alto que el de Europa.

Técnicamente el ruido es el resultado de la combinación de sonidos de una sola frecuencia o tonos puros, el ruido en el aire se debe a fluctuaciones de la presión del aire con respecto a la presión atmosférica media, pero no solo basta la existencia de sobrepresiones y depresiones, si

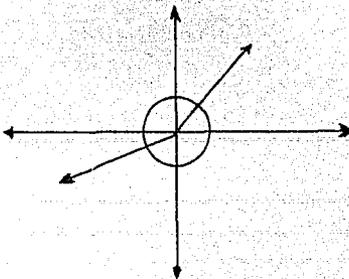
no que es imprescindible un cambio suficientemente rápido de presión de unos 20 a 20 000 ciclos/seg. El ruido en las estructuras se debe a vibraciones mecánicas de cuerpos elásticos, y el ruido en los líquidos se debe a pulsaciones de la presión del líquido con relación a la presión estática media.

EL SONIDO

Como segundo elemento de discusión en la definición del ruido, sería el concepto de sonido ¿Como es el sonido?

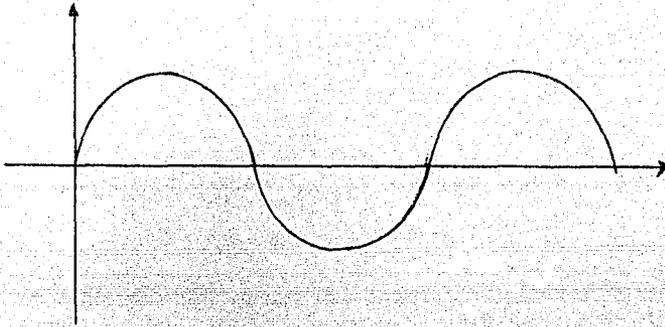
Desde un punto de vista práctico, sonido es "todo lo que se oye", siendo sus tres manifestaciones básicas: la música, el ruido y la conversación.

Las ondas sonoras se producen cuando se perturba el aire y viajan a través del espacio tridimensional comunmente como ondas sinusoidales longitudinales progresivas, la propagación del sonido se realiza en todas las direcciones a partir de la fuente -fuente se le llama a toda causa capaz de generar energía acústica-



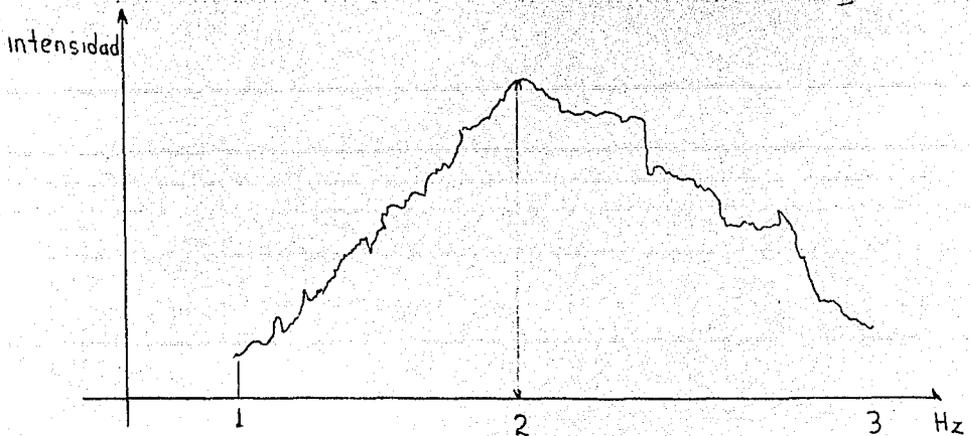
La Fuente sonora crea ondas acústicas que se propagan en todas las direcciones.

Un sonido natural cualquiera puede ser considerado como un conjunto de sonidos simples o puros, siendo éstos un movimiento de vaivén perfecto que se repite a intervalos de tiempos regulares en la misma forma.



En un punto de la onda, la presión fluctúa un cierto número de ciclos por segundo, alrededor de la presión atmosférica. La presión acústica es la diferencia entre la presión atmosférica y la presión del aire en presencia de ondas acústicas, el número de fluctuaciones o de períodos (ciclos) por segundo define la frecuencia o la altura del sonido, siendo su unidad internacionalmente conocida como Hertz (Hz).

Cada sonido simple tiene una frecuencia y una amplitud determinada que lo distinguen de los demás. Si analizamos en un tiempo determinado los sonidos simples que forman un sonido compuesto, puede trazarse una gráfica como ésta:



Cada punto de la gráfica corresponde a un sonido simple con su correspondiente amplitud y frecuencia. Esta gráfica es conocida como - Espectro del Sonido, una curva que nos es de suma utilidad porque nos da para cada frecuencia, el nivel acústico. Un ruido puede estar compuesto por una infinidad de frecuencias que van desde las más graves a las más agudas, o sea de las frecuencias más pequeñas a las más altas, aunque en el caso de un silbido o una nota de órgano, puedan tener una frecuencia dominante bien determinada.

Un sonido compuesto o complejo no posee ni amplitud ni frecuencia, se le distingue por el intervalo donde se presentan componentes, en la figura anterior sería el (1, 3) llamado banda de frecuencias y por la amplitud de la componente máxima (2)

Dicho espectro varía con el tiempo, según como cambian cada una de las componentes individuales. La forma del espectro y de su variación temporal dan las características distintivas que pueden causar su in-deseabilidad o no.

VELOCIDAD DEL SONIDO

La velocidad del sonido es la velocidad de propagación de las ondas sonoras a través de un medio dado.

La velocidad del sonido en el aire es:

$$332 \sqrt{1 + \frac{\theta}{273}} \quad \text{M/S}$$

donde θ es la temperatura del aire en °C.

Suponiendo que la temperatura media de la Ciudad de México sea 16°C , la velocidad del sonido en el aire es: 341.6 m/seg. , aproximadamente aumenta 0.6 m/seg. cada vez que la temperatura suba un grado centígrado.

La velocidad del sonido en el aire es independiente de los cambios en la presión barométrica, de la frecuencia y de la longitud de onda, pero es directamente proporcional a la temperatura absoluta.

La velocidad del sonido en los fluidos es:

$$C = \frac{\beta}{\rho}$$

β = módulo de volumen en nt/m^3 .
 ρ = densidad en Kg/m^3 .

Ejemplo:

Si el módulo de volumen del agua es $2.1 \times 10^9 \text{ nt/m}^3$. y su densidad es 998 Kg/m^3 , la velocidad será 1450.5 m/seg.

Finalmente la velocidad en los sólidos es:

$$C = \frac{Y}{\rho}$$

Y = módulo de Young en nt/m^2 .
 ρ = densidad en Kg/m^3 .

Ejemplo:

Si el cobre tiene un módulo de Young = $12.2 \times 10^{10} \text{ nt/m}^2$. y una densidad de $8\,900 \text{ Kg/m}^3$., la velocidad del sonido através de este medio es $3\,702.4 \text{ m/seg.}$

VIBRACIONES INFRA Y ULTRASONORAS

Por debajo de los 20 Hz. aproximadamente y por encima de los $20\,000 \text{ Hz.}$ el oído no percibe las vibraciones, son respectivamente las

vibraciones infrasonoras y vibraciones ultrasonoras.

a) Vibraciones infrasonoras.- Transmitidas por vía mecánica son perceptibles por los órganos del tacto repartidos por todo el cuerpo, el oído percibe sensaciones de pulsación para frecuencias de 15 a 20 Hz, percibe así mismo como vibración, no como ruido vibraciones hasta 100 Hz, y -- aún hasta 1 000 y 1 500 Hz. Es importante estudiar la zona de transición -- (entre 20 y 100 Hz) dado que la superposición de ruidos y vibraciones aumenta la molestia, las frecuencias de 50 a 80 Hz pueden producir perturbaciones en la visión por excitación del globo de los ojos, lo que provoca fatiga y los reflejos se perturban.

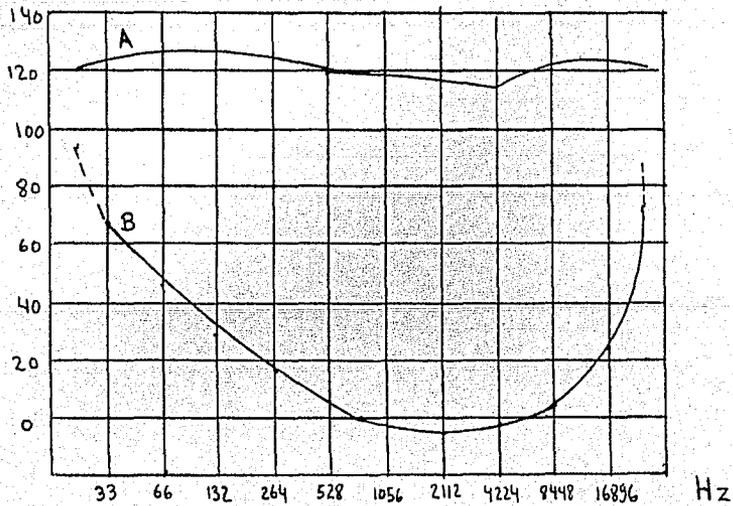
b).- Vibraciones Ultrasonoras.- Se propagan en el aire como los sonidos audibles y principalmente en los sólidos y líquidos homogéneos, tal vez sean nocivas estas vibraciones, con intensidades fuertes (más de 150 dB) se mueren algunos seres como ratones, en el hombre la intensidad tiene mucho más importancia que la frecuencia y todos los ultrasonidos pueden ser considerados como peligrosos si son demasiado intensos y difundidos.

Los ultrasonidos son más fácilmente absorbidos por el aire respecto a los sonidos.

La siguiente gráfica nos muestra un audiograma (medio de un ser humano) donde se muestra el umbral de la audiabilidad que representa para cada frecuencia, el valor mínimo del nivel de presión acústica susceptible de provocar una sensación sonora y el umbral del dolor, representa el

nivel de presión acústica por encima del cual la sensación producida es la de dolor, por encima de este umbral el oído no percibe las diferencias de nivel acústico.

Sonoridad
en sones



A : Umbral de dolor

B : Umbral de audibilidad.

INTENSIDAD ACUSTICA.

La energía con la que se mueve una partícula que vibra es propagada de partícula a partícula, o sea que existe un flujo energético, definimos la intensidad acústica como la cantidad de energía que pasa por un área determinada en un tiempo determinado, siendo sus unidades watt/m².

La intensidad es proporcional al cuadrado de las amplitudes, por lo cual puede decirse que un sonido simple se conoce por su intensidad y su frecuencia y que un sonido compuesto se conoce por la intensidad de su máxima componente y por su banda de frecuencias.

La intensidad es una característica difícil de medir, pero -- puede ser evaluada por las diferencias de presión en el cuerpo transmisor -- llamada presión acústica. Cuando el cuerpo donde se ha propagado el sonido es el aire, puede ser determinada la presión acústica por un micrófono, éste contiene una membrana que al moverse hace actuar un circuito eléctrico cuyas características son mesurables.

La Unidad de presión Kg/cm². recibe también el nombre de "bar", si se utiliza la unidad más cómoda para las medidas de presión acústica de 1 μ bar 10^{-6} bar, el umbral auditivo real para presiones acústicas se halla por término en 2×10^{-4} μ bar. Algunos autores prefieren la notación de las presiones de Pascal (Pa), donde 1 Pa = 1 N/m², el rango de presiones registradas por el oído humano sin ser dañado es de 2×10^{-5} Pa a 20 Pa, para darnos una imagen de estas presiones suponemos que una mosca que pese 2 gr. esté parada sobre una superficie de 1 cm²., esta mosca

produce una presión de 200 Pa, es decir, 10 veces más que la máxima soportable por el oído.

La magnitud de las presiones acústicas usuales bajo la forma de voz, música y ruido, oscila en un campo entre 10^{-1} hasta 10^{+3} μ bar.

En la práctica es incómodo mencionar los valores de las presiones en las unidades anteriores, debido a lo elevado de las cifras como -- son las potencias de 10.

Para facilitar el manejo de estas cantidades, se opta por una escala logarítmica de base 10, que cuando se utilizan grandes cifras absolutas se representan mediante cifras relativamente pequeñas como exponentes, y elegimos la presión del umbral de audición 2×10^{-4} μ bar como nivel -- acústico 0, los exponentes de esta serie, para diferenciarlos de las cifras sencillas de la serie aritmética y para caracterizarlos de una manera especial reciben el nombre de "bel", un bel es una característica proporcional y significa 10 veces más potencia, 2 bel significa 100 veces más potencia ó 10 veces más presión; la presión es demasiado amplia para la práctica, por lo que se vuelve a subdividir este intervalo en 10 iguales, obviamente logarítmicos y se fija la relación de 1 bel = 10 decibeles (dB), con ello resulta que un aumento de presión de 10 corresponde a un aumento de 2 beles o 20 dB, como se anotó anteriormente el umbral de audición 2×10^{-4} μ bar = 20 dB, -- 2×10^{-2} μ bar = 40 dB, se puede formular la siguiente tabla con los valores intermedios.

$\mu\text{bar} = \text{dB}$	$\mu\text{bar} = \text{dB}$	$\mu\text{bar} = \text{dB}$
2.00×10^{-4} 0	7.10×10^{-4} 11	2.00×10^{-2} 40
2.24 " 1	7.96 " 12	6.32×10^{-2} 50
2.52 " 2	8.93 " 13	2.00×10^{-1} 60
2.82 " 3	1.00×10^{-3} 14	6.32×10^{-1} 70
3.17 " 4	1.13 " 15	2.00 80
3.56 " 5	1.26 " 16	6.32 90
3.99 " 6	1.42 " 17	2.00×10 100
4.48 " 7	1.59 " 18	6.32×10 110
5.02 " 8	1.78 " 19	2.00×10^2 120
5.64 " 9	2.00 " 20	6.32×10^2 130
6.32 " 10	6.32 " 30	2.00×10^3 140

Expresando en una ecuación matemática el paso de una presión acústica p_x en μbar (recuérdese también que $1 \mu\text{bar} = 1 \text{ dina/cm}^2$) al nivel de presión acústica correspondiente (N) en dB da la relación:

$$N = 10 \log \frac{p_x^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p_x}{p_0} \quad (\text{dB})$$

donde p_x = presión acústica de la onda sonora expresada en μbar o Pascales

p_0 = presión del umbral de la audición = $2 \times 10^{-4} \mu\text{bar}$ ó 2×10^{-5} Pascales

Para expresar el Nivel de Intensidad Acústica:

$$N_i = 10 \log \frac{I_1}{I_0} \quad (\text{db})$$

de las fuentes aumentado en 3 dB matemáticamente:

$$\text{Sea } N_a = N_b$$

Si solo funciona la fuente A, el nivel de presión acústica es:

$$N_a = 10 \log \frac{p_a^2}{p_o^2}$$

Si solo funciona la fuente B el nivel acústico es:

$$N_b = 10 \log \frac{p_b^2}{p_o^2}$$

Si funcionan las dos fuentes al mismo tiempo el nivel acústico será:

$$N = 10 \log \frac{p_a^2 + p_b^2}{p_o^2} = 10 \log 2 \times \frac{p_a^2}{p_o^2} = 10 \log 2 + N_a$$

$$\underline{N = N_a + 3}$$

MEDIDA DE LOS RUIDOS

Las medidas de los niveles de presión acústica y/o de la intensidad del sonido, se llevan a cabo con un sonómetro, éste aparato está provisto de micrófono, amplificador, filtros de ponderación y un cuadrante de lectura.

El micrófono capta toda la energía acústica del ruido, independientemente de las frecuencias de los sonidos que lo componen y como resultado nos da un nivel global del ruido, dado que dos ruidos con espectros sonoros diferentes pueden tener el mismo nivel global, para hacer una mejor diferenciación utilizamos los filtros de ponderación los llamados - -

en donde: I_1 = intensidad acústica del sonido en W/m^2 .

I_0 = intensidad acústica de referencia igual a 10^{-12} watt/ m^2 ., ésta corresponde a la presión acústica de referencia 2×10^{-5} Pa, cuando la onda se propaga en el aire.

En el Aire, el nivel de presión acústica es igual al nivel de intensidad acústica.

NIVEL DE POTENCIA ACUSTICA

Dado que todo lo que vibra emite un sonido, obviamente el movimiento vibratorio libera una cantidad de energía, la potencia acústica de la fuente corresponde a la energía liberada por unidad de tiempo, el nivel de -- Potencia acústica (N_p) de una fuente está expresado igualmente en decibeles:

$$N_p = 10 \log \frac{P_1}{P_0}$$

P_1 = potencia acústica de la fuente expresada en watts (vatios)

P_0 = potencia acústica de referencia = 10^{-12} W

El nivel de potencia acústica de una fuente caracteriza el ruido emitido por la fuente. El nivel de presión acústica caracteriza el ruido percibido por el oído.

Es necesario tener cuidado y no sumar los niveles sonoros, - son los cuadrados de las presiones acústicas los que se suman, por ejemplo si tenemos una presión de 40 dB y otra fuente produce una presión de 40 dB, el resultado no será 80 dB, sino aproximadamente el nivel producido por una

(A) (B) o (C) entonces las medidas serán dB(A) dB(B) o dB(C) con esta finalidad se introducen entre el amplificador y el cuadrante de lectura, filtros que sólo dejan pasar la energía acústica contenida en una banda de frecuencias.

Un sonido medido en decibeles (A) determina el nivel de presión acústica de la máxima componente ponderada para simular los efectos del oído.

Las bandas de frecuencias no pueden ser aleatorias, la separación es regular y puede corresponder a intervalos de octava, de media octava o de tercio de octava.

Se llama octava al intervalo entre dos sonidos puros cuyas frecuencias están entre sí en una relación 2:1 por ejemplo 100-200 Hz, 420-840 Hz, las más usuales son: 37.5-75, 75-150, 150-300, 300-600, 600-1200, 1200-2400, 2400-4800.

Una banda de un tercio de octava es una banda de frecuencias en la cual la relación de las frecuencias extremas es igual a la raíz cúbica de 2.

Los análisis en octava y en tercios de octava son los más utilizados.

Cada banda de frecuencia está representada por su frecuencia media, la banda de octava 125 Hz tiene por frecuencia media 125 Hz.

Las frecuencias graves comprenden las bandas de tercios de octava centradas sobre 100, 125, 160, 200, 250, 320 Hz. o sea entre las bandas de octava 125 y 250 Hz.

Las frecuencias medias comprenden entre las bandas de tercios de octava 400, 500, 640, 800, 1000, 1250 Hz. o por la banda de octavas de 500 y 1000 Hz.

Las frecuencias agudas están centradas entre las bandas de tercios de octava 1600, 2000, 2500, 3200 Hz. o por la banda de octavas de 2000 y 4000 Hz.

Para conocer el valor aproximado en decibeles de los ruidos más frecuentes se presenta la siguiente tabla:

Presiones en Pascal	Nivel en decibeles	
.00002	0	Umbral de la audición
	10	conversación en voz baja
.0002	20	murmullo, reloj, jardín tranquilo
	30	Estudio de radiodifusión, teatro vacío.
.002	40	conversación media, despacho particular, -- aula aislada del tráfico.
	50	Conversación normal, automóvil silencioso, calle tranquila, vivienda media.
.02	60	calle con tráfico normal, ruidos de la calle, - despachos pequeños.
	70	gritos, calle ruidosa, grandes oficinas, sala de mecanografía.
.2	80	despachos ruidosos, restaurantes, avión a -- reacción a un Km.

Presiones en Pascal	Nivel en decibeles	
	90	aparato de radio muy fuerte, estallido de un neumático a 3 m., talleres metalúrgicos.
2	100	claxon de automóvil a 9 m., martinetes, sierra circular.
	110	motor de aviación a 6 m., taller de caldería.
20	120	trueno, central eléctrica ruidosa
	130	LIMITE DE LA SENSACION DOLOROSA.
	140	Sirena de Transatlántico a 15 m.

SONORIDAD (INTENSIDAD SUBJETIVA)

La sonoridad es una interpretación mental y por consiguiente una cualidad subjetiva que no puede medirse con instrumentos, aún no se establece una escala absoluta para medirla, solamente se usa una escala relativa, basada en el logaritmo de la relación de dos intensidades.

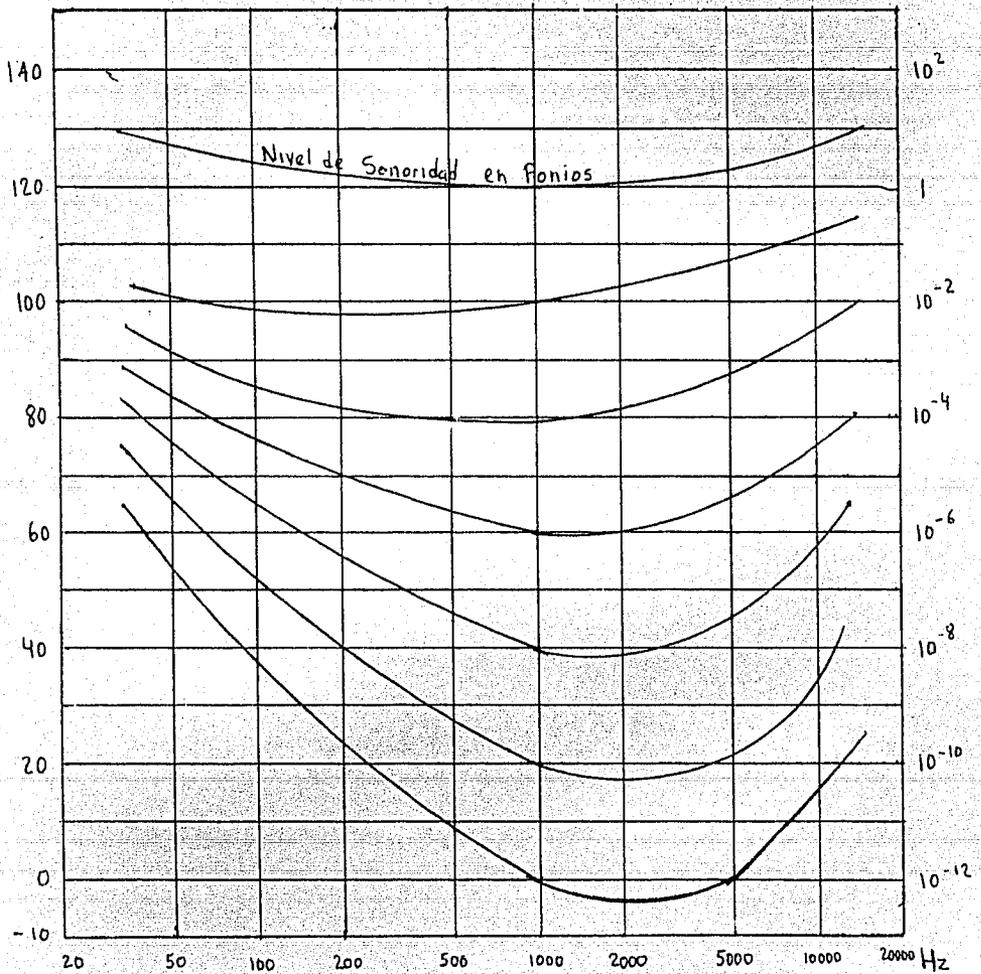
El Sonio es una unidad acústica usada para medir la sonoridad, se usa para clasificar y comparar la sonoridad de los sonidos sobre una base común como el oído los escucha, se define como la sonoridad de un tono puro con frecuencia de 1000 Hz. en un nivel de intensidad de 40 dB, una sonoridad de 1 milisonio corresponde al umbral de la audición, sus valores pueden sumarse aritméticamente, o sea, una sonoridad de dos sonidos es dos veces tan sonora como la sonoridad de 1 sonio.

El fonio es una unidad acústica usada para medir el nivel to--

tal de sonoridad de un ruido, un tono puro de 1 000 Hz. a un nivel de intensidad de 1 dB se define como un sonido con nivel de sonoridad de 1 fonio, el nivel de sonoridad de un tono de 30 fonios al igual que el decibel no es la mitad del sonido de un tono de 60 fonios de nivel de intensidad sonora.

Nivel de intensidad
dB

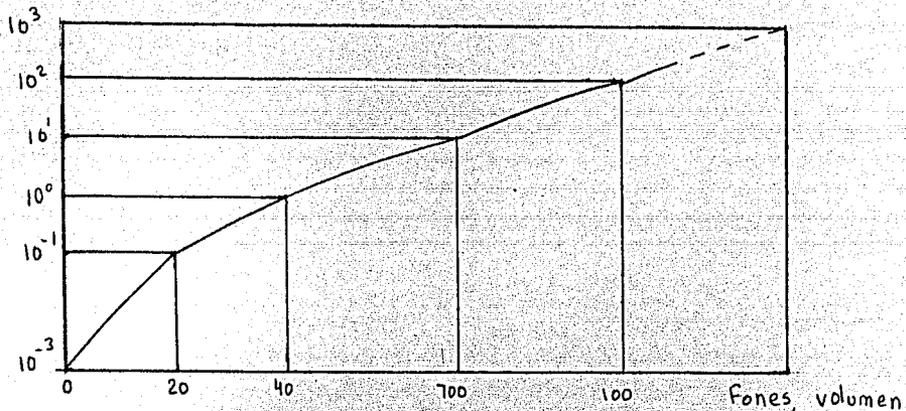
intensidad
 w/m^2



Graficando estos valores obtenemos una curva como la siguiente:

te:

Sones, tono



Es mejor dar los niveles de sonido máximo y medio en fonios más bien que en decibeles; por el hecho de que los decibeles no dan una verdadera indicación del nivel del ruido máximo que pueda permitirse, pues no tienen en cuenta la variación de la intensidad del sonido con la frecuencia.

Según Bruel, las casas deberían tener estos niveles de fonios promedio y máximo:

	Promedio	Máximo
Estudios de radio y T. V.	10	15
Hospitales	12	18
Dormitorios	16	20
Bibliotecas	32	38
Oficinas	40	55
Talleres de precisión	38	60

	Promedio	Máximo
Restaurantes	55	65
Talleres ind. pesada	60	90

LINEAS DE TRANSMISION

Se llama línea de transmisión a la vía que el sonido emplea para llegar desde la fuente hasta el receptor.

La línea de transmisión puede ser de tres tipos:

- 1.- Por vía aérea
- 2.- Por vía sólida
- 3.- Por vía mixta

Es aérea cuando el sonido emplea el aire para propagarse, se dice una vía sólida cuando la propagación del sonido se hace exclusivamente por elementos sólidos, esto implica que el sonido llega a ser percibido por el oído al transmitirse por los huesos del cuerpo, y se dice vía mixta cuando emplea en parte el aire y en parte los sólidos, en cualquier orden y sucesión, o sea que el sonido no solo se transmite por el aire sino indirectamente al propagarse el sonido a través de elementos sólidos colocados sobre la línea aérea de transmisión y que intentan de alguna manera aislar la fuente.

Resumiendo esto podemos englobar en dos grandes categorías los ruidos molestos en una construcción:

- 1.- Ruidos transmitidos por vía aérea (ruidos aéreos) o sea ruidos de las conversaciones, el estrépito de la voz, --

los instrumentos musicales, la radio, la T.V., los gritos, ruidos exteriores, etc.

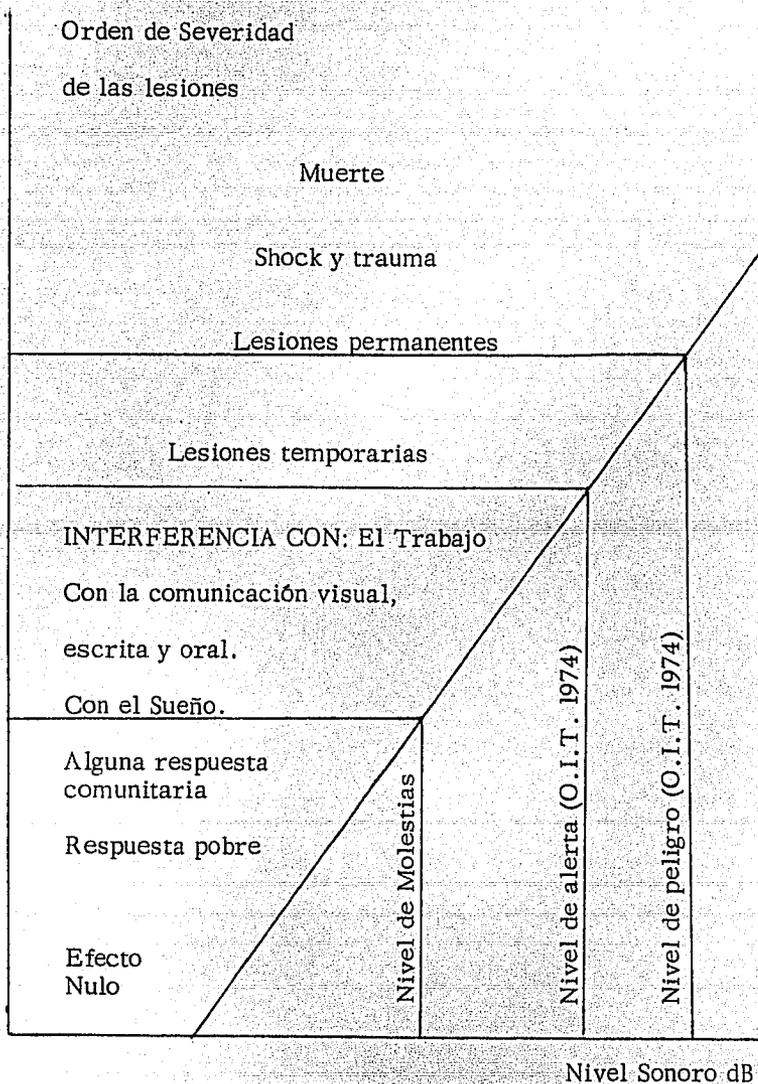
- 2.- Ruidos transmitidos por vía sólida con una parte de transmisión aérea: o sea ruidos de pasos, caída de objetos, ruidos de instalaciones sanitarias, ruidos de vajillas, aparatos domésticos, etc.

DAÑOS QUE OCASIONA EL RUIDO.

Son dos los sentidos corporales humanos que perciben la energía acústica, el oído en forma de sonido y el tacto en forma de vibración, pero la energía acústica baña por completo al hombre y cuando llega a valores peligrosos puede dañar órganos diversos además del oído, tales como el estómago, los riñones y el cerebro.

El ruido es causa de interferencia en una gran parte de actividades como el estudio, el trabajo, el sueño y la recreación, produce fatiga y causa esfuerzo, disminuye el apetito y produce indigestión, irritación y dolor de cabeza, el ruido de alta intensidad tiene un efecto acumulativo adverso sobre el mecanismo de audición humano, que puede llegar a producir sordera temporal o permanente. Psicológicamente produce ciertos efectos adversos en la productividad de los trabajadores, disminuye su eficiencia y aumenta la posibilidad para cometer errores producidos por la distracción, los ruidos producidos por las máquinas les causan desgastes y daños. En la siguiente figura se muestra un cuadro de las lesiones en relación a los niveles de presión acústica.

DAÑOS QUE OCASIONA EL RUIDO



No se marcan los valores numéricos a los límites de niveles, puesto que dependen esencialmente del individuo de acuerdo a su sensibilidad personal.

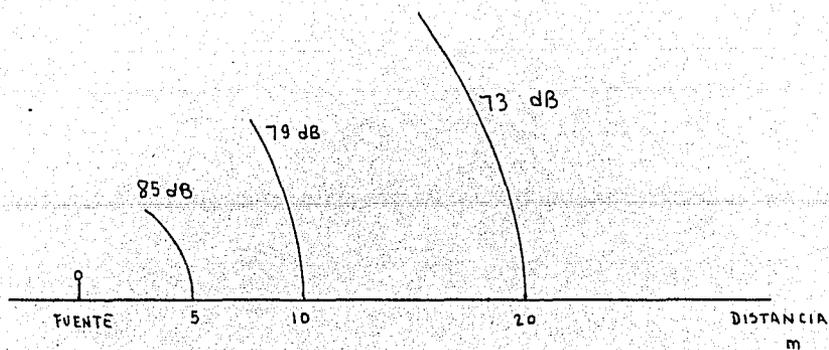
DISPOSICION DE LOS PLANOS Y URBANISMO

La protección contra el ruido, se puede hacer sencilla y económicamente disponiendo adecuadamente los planos, o sea separando las zonas de ruido y las de silencio, desde el inicio del proyecto se debe tomar en cuenta cual es la distribución de las plantas de los edificios que hace que éstos sean desde el punto de vista acústico lo más correctos posibles, porque si los planos están mal ideados en este aspecto puede ser que sea prácticamente imposible asegurar el estado acústico necesario o que para lograrlo sea necesario recurrir a medios muy complicados y costosos.

La distancia es el aislante acústico más eficaz y muchas veces el más económico, el inconveniente es que en la actualidad, por razones de sobrepoblación el área disponible por habitante es cada vez más reducida (véase en la siguiente hoja el efecto de la distancia en el nivel de ruido).

La disposición general de la planta de los edificios desempeña un papel muy importante, los patios por ejemplo son muy ruidosos y la adopción cada vez más frecuente de los tipos de construcción abierta así como la utilización de grandes superficies verdes, facilita la resolución de problemas acústicos y más cuando la disposición aleja de las calles las fachadas. Se puede esperar que con estas disposiciones se obtendrán reducciones de 10 a 20 dB respecto al nivel que se produce en una calle del mismo tráfico pero con fachadas continuas y esto es en las habitaciones que estén junto a las fachadas.

EFECTO DE LA DISTANCIA EN EL NIVEL DE PRESION ACUSTICA.



El Nivel Sonoro disminuye 6 dB, cada vez que se dobla la distancia con relación a la fuente.

Es obvio que desde el punto de vista de aislamiento acústico es mejor que una habitación dé al jardín que no dé a la calle.

Para la concepción de un proyecto es de suma importancia conocer valores de nivel de presión acústica máxima en las diferentes dependencias que conviene no sobrepasar tales como:

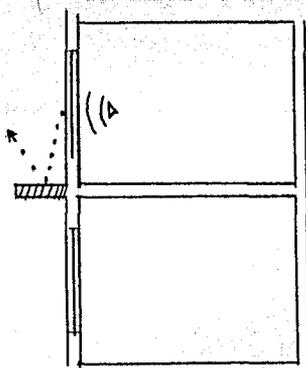
LOCAL	Nivel Acústico Máximo (dB)
Estudios de radio, T. V. y grabadoras	25 - 30
Salas de Concierto, teatros	30 - 35
Hospitales, cines, iglesias, aulas	35 - 40
Viviendas, Hoteles	35 - 45
Salas de Conferencia, bibliotecas	40 - 45
Grandes despachos, almacenes	45 - 55
Restoranes	50 - 55

El ruido en el interior de un edificio depende tanto del ruido exterior como del interior, en la disposición de las plantas hay que tener en cuenta además de las condiciones exteriores particularmente en relación con las calles, la distribución interior (separación entre los locales silenciosos y los ruidosos).

Para las viviendas es conveniente separar las piezas ruidosas (cocina, baños, comedor) de las piezas de descanso (recámaras, bibliotecas) para viviendas de dos o más plantas hay que pensar tanto en la contiguidad horizontal como en la vertical, por ejemplo, sería inadecuado colocar en -

un hotel un baño encima de una habitación, dado que en los planos de construcción generalmente no se detallan las secciones, se encuentran frecuentemente tales contiguidades entre pisos de distinta distribución, ésto es muy importante dado que el aislamiento en sentido vertical es bastante difícil.

En las escuelas es aconsejable aislar las aulas de las zonas ruidosas como son los patios, los talleres y aulas de música, así mismo es importante evitar la transmisión por el exterior entre las distintas aulas, las cuales casi siempre están con las ventanas abiertas, esto se puede evitar en parte poniendo pantallas (muretes) entre las dos aulas contiguas, como se ve en la figura.



También se deben evitar los patios estrechos con aulas a los lados.

En los hospitales, las habitaciones de los enfermos se separarán de las cocinas, comedores, lavaderos, elevadores, salas de conferencias y empleados, etc.

En los hoteles se deberá estudiar particularmente la situación de las salas de fiestas, centros nocturnos, bares, restaurantes, etc., que gene-

ralmente son colocados en la planta baja o primer piso, se debe evitar colocarlos en el patio, cubiertos con domos o vidrios, lo cual produce un nivel acústico inaceptable.

En las industrias se debe proteger de que el ruido de la zona de máquinas no trascienda al interior de las oficinas.

URBANISMO

Es evidente que el urbanismo desempeña un gran papel en la protección contra el ruido, no es tan necesario aislar en las zonas tranquilas como en las ruidosas.

Anteriormente la zonificación (separación de los edificios en zonas industriales y zonas residenciales) se hacía con base en la producción de smog, pero conviene desplazar al exterior las industrias ruidosas y lo mismo los estadios y lugares similares que son fuente de ruidos intensos.

También es conveniente alejar de las ciudades, los Aeropuertos, puesto que cuando están cerca -como el caso de la Ciudad de México- al aproximarse o despegar la aeronaves producen ruidos superiores a los 100 dB (tales como el 707 y el DC-8) al respecto el Reglamento para la Prevención y control de la Contaminación ambiental originada por el ruido, en su artículo 27 dice que: Está prohibido sobrevolar aeronaves de hélice a una altura de 300 m. sobre el nivel del suelo y los de turbina a una altura inferior a 500 m. en zonas habitacionales "excepto" en operaciones de despegue, aproximación, rescate y similares, dicha medida no soluciona el problema acústico, como es el caso de las colonias Jardín Balbuna, Moctezuma, Ara-

gón y otras aladañas al aeropuerto de la Ciudad de México, sino se deben -- buscar soluciones más radicales como la construcción de nuevos aeropuer-- tos relativamente lejanos del área urbana.

Tenemos que la principal causa de la contaminación por ruido en las ciudades es causa por el tráfico, y más aún cuando circular como en la Ciudad de México cerca de dos millones de vehículos automotores, situación que se agrava cuando se producen embotellamientos y los vehículos hacen uso de bocinas, sirenas y dispositivos similares, el reglamento antes ci tado determina los niveles máximos permitidos para ruidos emitidos por -- fuentes móviles, los cuales varían según el peso y modelo de la unidad:

AÑO MODELO	PESO BRUTO VEHICULAR			
	hasta 2 727 Kg.	2 727-3 500	3 500 -10 000	más de 11 000
anterior a 1977	86	88	91	98
1977 y 1978	83	85	88	95
1979 y en adelante	80	83	85	92

y para motocicletas:

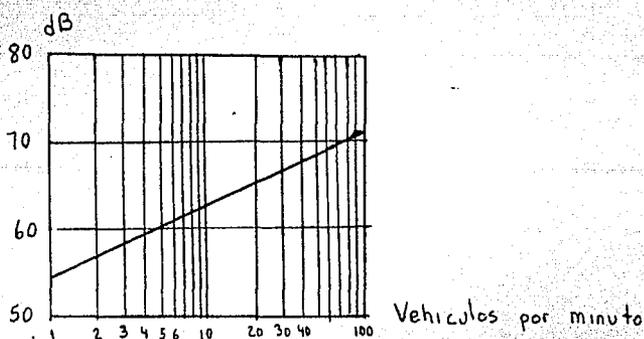
AÑO MODELO	Nivel permitido máximo dB(A)
anterior a 1968	93
de 1968 a 1975	89
1979 y en adelante	84

Así mismo dice que se deben respetar las zonas de restric-- ción temporales y permanentes.

De los valores antes mencionados se deduce que el principal

problema acústico de las urbes son las fuentes móviles, dado que el citado reglamento (art. 14) para las fuentes fijas determina un nivel máximo de 68 dB entre las seis y las veintidos horas del día y de 65 dB entre las veintidos y las seis horas, dichos niveles no debentrascender a los predios colindantes o a la vía pública, o sea que estas mediciones se harán en el perimetro del predio.

Para estimar el nivel acústico debido a un cierto tráfico, cuando no se pueden hacer mediciones directas se puede utilizar el ábaco de Seacord.



El problema del tráfico urbano se reduciría si se desviarán las grandes avenidas de las zonas residenciales, y se asegurara una protección que podría ser por medio de una cortina vegetal entre las zonas residenciales y zonas de circulación.

Para eliminar -al menos en parte- el ruido ocasionado por los trenes convendría alojarlos en zanjas plantadas con pasto, lo que reduce los sonidos más agudos (que son los que más fatiga producen) para los

que la propagación se hace esencialmente en línea recta, así se puede reducir el nivel acústico de 5 dB (talud desnudo) a 10 dB (talud cubierto con vegetación) de estos ensayos se demuestra que la vegetación desempeña un papel esencial, por ejemplo en una calle, la interposición de una fila de árboles, reduce el nivel acústico en las casas de 4 a 5 dB.

CAPITULO II

RUIDOS AEREOS

GENERALIDADES

CLASIFICACION DE LAS PAREDES

INDICE DE DEBILITAMIENTO DE LAS PAREDES SIMPLES

VALORES DE FRECUENCIAS CRITICAS DE ALGUNOS
MATERIALES PARA CONSTRUCCION.

EVALUACION DEL INDICE DE DEBILITAMIENTO DE
LA PAREDES SIMPLES

ELECCION DE LAS PAREDES SIMPLES

TRANSMISIONES INDIRECTAS

PERMEABILIDAD AL AIRE DE UN MURO

PAREDES MULTIPLES

PUNTOS DEBILES DE LOS MUROS

TRATAMIENTO DEL SONIDO POR ABERTURAS Y PA-
REDES HETEROGENEAS.

CAPITULO II

RUIDOS AEREOS

GENERALIDADES.

Recordemos que los ruidos aéreos son los que se originan y propagan por vibración del aire, tales como la música, las palabras, etc. Para los muros solo consideraremos los ruidos aéreos pues los choques sobre las paredes verticales son excepcionales y no justifican un acondicionamiento especial.

Los ruidos aéreos para un local determinado pueden ser de origen externo o de origen interno, para reducir la molestia debida a la propagación de los ruidos aéreos existen tres métodos:

- 1.- Acondicionar el lugar en que se produce el ruido.
- 2.- Acondicionar el local donde se recibe el ruido.
- 3.- Aislar el local receptor del lugar en que se produce el ruido.

Este último es el más eficaz, en el Capítulo V se verá lo que se puede hacer con el acondicionamiento acústico, aquí solo consideraremos el problema de aislamiento acústico que es la solución esencial para la protección contra los ruidos aéreos.

Cuando una pared se somete a la acción de ondas de presión y extensión vibra y emite un sonido de la misma frecuencia que la fuente sonora, o sea que hay una transmisión de energía acústica por la pared: a continuación se mencionan algunos conceptos útiles para el estudio de este capítulo:

Factor de transmisión (τ) es la relación de la energía transmitida a la energía incidente por unidad de superficie.

Índice de debilitamiento acústico (R) es la aptitud de una pared para aislar un medio emisor de un medio receptor, se expresa en dB y se liga al factor de transmisión por la relación

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau}$$

Si se emite un sonido frente a un muro, éste aún siendo rígido vibra y emite al local receptor uno de igual frecuencia y de menor intensidad, esta transmisión puede ser directa o indirecta, es directa cuando la energía acústica pasa de un local a otro a través de la pared de separación, esta transmisión depende básicamente del índice de debilitamiento acústico de la pared y de la superficie de la misma. Es transmisión indirecta cuando las transmisiones de energía acústica son por las paredes laterales y en este caso depende de la naturaleza de los muros laterales y del tipo de liga

de estos muros con el de separación.

Aislamiento Acústico Puro. - Para conocer el valor de aislamiento que tiene un determinado muro, se mide el nivel sonoro L_1 en el local emisor y el nivel sonoro L_2 en el local receptor, a la diferencia de estos valores se le denomina aislamiento acústico puro entre dos locales

$$D_b = L_1 - L_2$$

éste depende de la naturaleza y superficie de las paredes y del local receptor o sea de la construcción del edificio y del amueblado del local receptor, y como éste último es "por cuenta del cliente" para poder comparar el aislamiento obtenido por diversos tipos de construcción, se elimina el factor - amueblamiento, se puede determinar el aislamiento si el local receptor tuviera características acústicas definidas, en relación en un receptor de referencia - que tenga una superficie de absorción equivalente A_0 de los 10 m², obteniendo el Aislamiento Acústico Normalizado entre dos locales:

$$D_n = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{A}{A_0}$$

$$\text{o} \quad D_n = D_b + 10 \log \frac{A}{10}$$

donde A es la superficie de absorción equivalente real de la sala de recepción, se determina por la fórmula de Sabine:

$$A = \frac{0.16 V}{T}$$

El Centre Scientifique et Technique du Batiment de Francia su pone que es T (tiempo de reverberación) y no A la que es constante, se calcula cual sería el aislamiento si la duración de la reverberación del local -

receptor fuera de 0.5 seg. así el Aislamiento Acústico Normalizado es

$$D_n = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{0.5}$$

El Aislamiento Acústico Normalizado dá el valor de aislamiento acústico entre dos locales para los ruidos aéreos.

Índice de debilitamiento Acústico. - Si se quiere conocer solo el valor de la pared de separación sola hay que eliminar la influencia del local receptor y la influencia de la superficie de la pared de transmisión y -- las transmisiones indirectas, para hacer esta medida (es en laboratorio) se utiliza la sala de recepción separada de la sala de emisión mediante una junta de dilatación la cual suprime las transmisiones indirectas, se calcula matemáticamente mediante estas fórmulas:

$$R = L_1 - L_2 - 10 \log \frac{A}{S} = 10 \log \frac{1}{\tau}$$

CLASIFICACION DE LA PAREDES

Para iniciar el capítulo de Ruidos Aéreos mencionaremos una clasificación de los muros o paredes, desde el punto de vista de la Acústica:

Paredes Simples Homogéneas. - Son las compuestas de un mismo material.

Paredes Simples Heterogéneas. - Compuestas por la yuxtaposición de varios materiales, ejemplo: muro de concreto y yeso.

Paredes Múltiples. - Compuestas de varios elementos independientes unos de otros, ejemplo: muro doble de tabique.

Paredes Contínuas. - Son paredes simples o múltiples que tie

nen la misma composición en toda la superficie.

Paredes discontinuas.- Son paredes simples o múltiples que presentan una o varias discontinuidades, ejemplo: un muro de tabique con -- una puerta.

INDICE DE DEBILITAMIENTO ACUSTICO DE LAS PAREDES SIMPLES.

Cuando una onda sonora se topa con un muro ocurren dos fenómenos:

1° reflexión sobre el muro de una parte de la energía transportada y

2° transmisión por la pared de otra parte de la energía.

Si la pared es porosa la energía transmitida es más importante que si el muro fuera estanco, para iniciar este capítulo supondremos que el muro es estanco.

Ley de Masa y Ley de la Frecuencia.- Cuando una onda sonora choca con una pared la pone en movimiento convirtiéndola en una fuente de sonido, el nivel sonoro del ruido radiado es menor mientras más pesado sea el muro (Ley de la Masa).

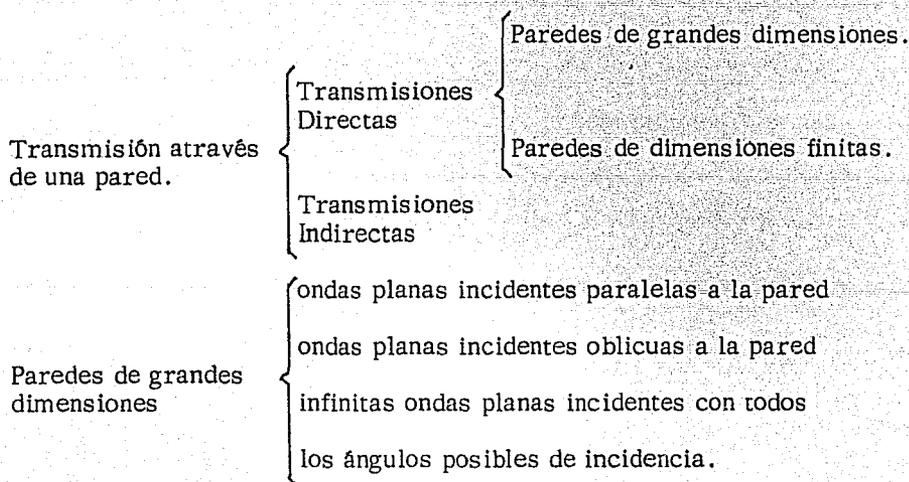
El nivel sonoro del ruido radiado es inversamente proporcional a la frecuencia del ruido incidente o sea que una pared tiene un índice de debilitamiento acústico más grande en las frecuencias agudas que en las graves.

Se ha demostrado experimentalmente que el índice de debilitamiento acústico de una pared (R) aumenta 4 dB cuando la masa se multiplica por 2 y disminuye 4 dB cuando la masa se divide por 2, de la misma manera

para una pared dada R aumenta 4 dB cada vez que la frecuencia del sonido incidente se dobla y disminuye 4 dB cuando la frecuencia se divide por 2.

Para tomarlo como base se dice que un muro de densidad = 100 Kg/m². tiene un "R" = 40 dB para una frecuencia de 500 Hz.

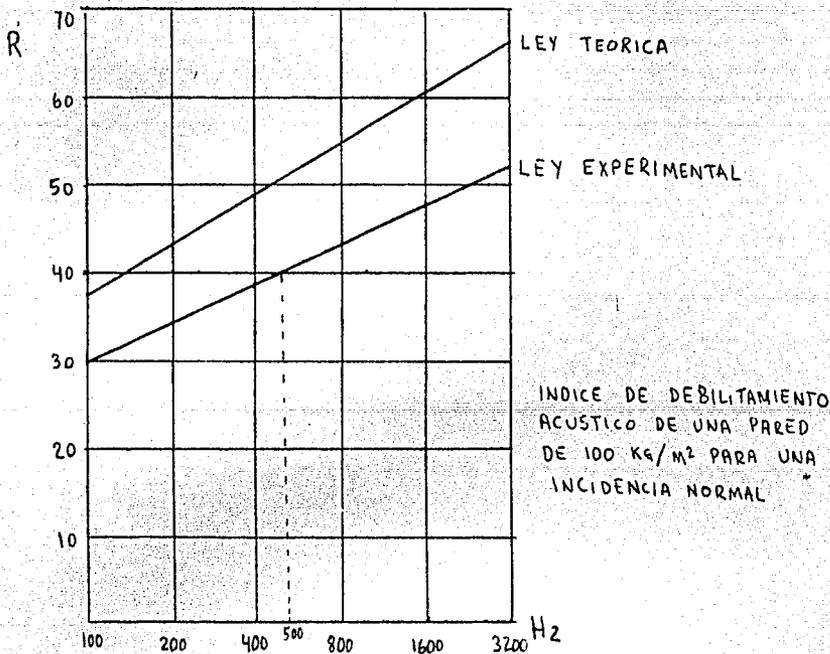
Comportamiento de una Pared Simple no porosa ante la presencia de ondas sonoras. - Mencionaremos los casos más frecuentes de la transmisión de sonido por una pared:



Paredes de grandes dimensiones.

- a) Las ondas sonoras incidentes son planas y paralelas al muro (incidencia normal). Se ha observado que el índice de debilitamiento acústico "R" que cada vez que se dobla la masa por unidad de superficie de la pared se aumenta R en 6 dB (teóricamente), de igual manera cada vez que se dobla la frecuencia "R" aumenta 6 dB, o sea que para una inciden

cia normal, una pared de masa dada tiene un "R" representado por una recta de pendiente 6 dB por octava -en papel semilogarítmico- ésto es por ejemplo: si para una frecuencia de 200 Hz se tiene $R = 32$ dB, por tanto para una frecuencia de 400 Hz $R = 32+6 = 38$



b) Las ondas planas incidentes son oblicuas.

La dirección de propagación forma un ángulo θ con la perpendicular a la pared. Para una cierta frecuencia del sonido incidente se produce resonancia que aumenta la transmisión de energía por la pared, ésta es el lugar de las ondas de flexión con el mismo ritmo que el sonido incidente,

para esta frecuencia existe "coincidencia", la frecuencia de coincidencia depende de entre otras cosas del ángulo de incidencia y la rigidez de la pared. Para una frecuencia incidente inferior a la frecuencia de coincidencia o crítica, la pared sigue la ley de frecuencia teórica -pendiente de -6 dB por octava- para la frecuencia de coincidencia se observa un decaimiento de R y para las frecuencias superiores a la crítica, existen ondas en coincidencia, de aquí las caídas de aislamiento con relación a la ley de la masa teórica.

- c) Una pared es atacada por una infinidad de ondas planas con todos los Angulos de Incidencia Posibles.

La mayor baja de R se produce cuando la frecuencia del sonido incidente es igual a la crítica de esta pared, esta frecuencia crítica depende de la rigidez de la pared -es pequeña para una pared muy rígida- y de su masa. Para las frecuencias críticas la baja de R depende básicamente de las pérdidas internas del material, para frecuencias inferiores, R sigue la ley de masa.

2.- Paredes de Dimensiones Finitas.

En estos casos se producen fenómenos secundarios de resonancia para las frecuencias que dependen de las dimensiones de las paredes, generalmente para los muros de superficie superior a 10 m²., estas frecuen

cias de resonancia se encuentran en la zona de frecuencia graves y no tienen influencia sobre el comportamiento de la pared en la banda de frecuencias considerada generalmente para las medidas 100-3200 Hz.

VALORES DE FRECUENCIAS CRITICAS DE ALGUNOS MATERIALES PARA CONSTRUCCION.

En un muro de determinado material, la frecuencia crítica es inversamente proporcional al espesor de la pared, la siguiente tabla da los valores de las frecuencias críticas para muros de 1 cm. de espesor, para determinar la frecuencia crítica de una pared homogénea sin huecos de X cm. de espesor, debemos dividir por X el valor de la frecuencia dada por la tabla, ejemplo: para el yeso la frecuencia crítica es 4 000 Hz, si queremos conocer para un muro de 8 cm., de espesor de este material será $f_c = 4\ 000/8 = 500$ Hz.

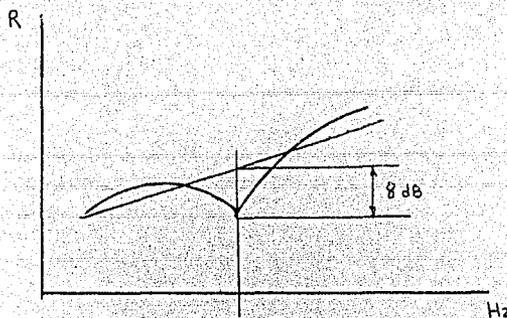
MATERIAL	MASA VOLUME TRICA (Kg/m ³)	FRECUENCIA CRITICA Para 1 cm. esp.	PERDIDAS INTERNAS
Acero	7 800	1 000	Bajas
Aluminio	2 700	1 300	Bajas
Caucho	1 000	85 000	Altas
Concreto	2 300	1 800	Medias
Corcho	250	18 000	Altas
Madera	600	6 000- 18 000	Medias
Plomo	10 600	8 000	Altas

MATERIAL	MASA VOLUME TRICA (Kg/m ³)	FRECUENCIA CRITICA Para 1 cm. esp.	PERDIDAS INTERNAS
Poliestireno Expandido	14	14 000	Medias
Tabiques macizos	2 500	2 500- 5 000	Bajas
Vidrio	2 500	1 200	Bajas
Yeso	1 000	4 000	Medias

La caída del índice de debilitamiento para la frecuencia crítica está atenuada por las pérdidas internas en la pared, estas pérdidas internas son debidas a los frotamientos internos del material y dependen solo de la naturaleza de este material.

Los materiales con pérdidas internas bajas presentan una caída de 10 dB con relación a la ley de masa experimental, para la frecuencia crítica.

Para los materiales con pérdidas internas medias, la caída de aislamiento de 8 dB,



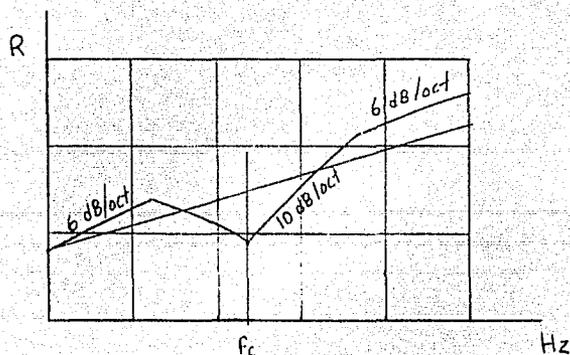
Y para los materiales con pérdidas internas altas la caída es

de 6 dB.

EVALUACION DEL INDICE DE DEBILITAMIENTO DE LAS PAREDES SIM- PLES.

El Método de determinación del índice de debilitamiento acústico de una pared simple, teniendo en cuenta su rigidez, la masa y las pérdidas internas es:

- 1° Determinar el índice de debilitamiento, dado por la ley de la masa para 500 Hz.
- 2° Trazar en coordenadas semilogarítmicas una recta de pendiente 4 dB por octava, correspondiente a la Ley de la frecuencia.
- 3° Situar la frecuencia crítica.
- 4° Determinar la caída de aislamiento para la frecuencia crítica, teniendo en cuenta las pérdidas internas del material.
- 5° Trazar la curva del índice de debilitamiento teniendo en cuenta las pendientes indicadas en la siguiente figura;



ELECCION DE LAS PAREDES SIMPLES

Es necesario elegir los materiales y su espesor de tal forma que la frecuencia crítica caiga en una zona insensible (muy alta o muy baja - la frecuencia), se recordará que la frecuencia crítica de una pared disminuye cuando el espesor y la rigidez de la pared aumentan.

Es conveniente elegir paredes de pequeña rigidez dado que para paredes ligeras éstas son de espesor pequeño, para que la frecuencia crítica sea lo más alta posible.

Las paredes pesadas tienen mucho espesor por lo que deben presentar una rigidez fuerte para que su frecuencia crítica sea lo más baja posible.

Para que el efecto de aislamiento de una pared pesada con su frecuencia crítica no tenga gran influencia sobre las frecuencias medias es necesario que la frecuencia crítica sea inferior a un espesor de 9 cm. para el concreto o de 11.5 cm. de tabiques macizos.

TRANSMISIONES INDIRECTAS

El nivel sonoro en el local receptor es debido a la energía -- transmitida por la pared de separación y a la energía radiado por las paredes adyacentes, en el local emisor, la fuente hace que el piso, techo y las - dos paredes comunes al local receptor vibren, las ondas de flexión recorren estas cuatro paredes que radian energía sonora.

Se presentan varios casos:

1° Todas las paredes son pesadas.

El nivel sonoro que se obtiene en el local receptor es superior por lo menos en 3 dB, al nivel que se tendría si no hubiera transmisiones directas.

2° Una de las paredes laterales es más ligera que la pared de separación. La energía radiada por el elemento ligero en el local receptor es importante y puede ser superior a la energía transmitida directamente por la pared, las transmisiones indirectas son más importantes que la transmisión directa y son las primeras las que condicionan el aislamiento entre dos locales, en este caso no serviría de nada aumentar el aislamiento de la pared de separación.

3° Las paredes laterales son pesadas y el muro divisorio es ligero.

La transmisión por el muro divisorio resulta aumentada y el aislamiento entre los dos locales es más pequeño que si solo se considerara el muro divisorio, es necesario reforzarlo o al menos independizarlo de las paredes adyacentes.

4° Cielos Rasos Ligeros.

Generalmente los muros de separación no atraviesan los cielos rasos, aquí se presentan transmisiones secundarias o sea debido a la transmisión de ondas que se reflejan sobre el techo macizo, es pues necesario montar el muro de separación hasta el techo superior.

PERMEABILIDAD AL AIRE DE UN MURO.

Anteriormente habíamos supuesto muros estancos (no porosos) cosa que no ocurre prácticamente, las ondas sonoras chocan con la pared y la atraviesa por poros y canales, la energía transmitida varía según el diámetro de los poros. Pongamos como ejemplo un muro de piedra pomez de masa = 100 Kg/m²., sin recubrir, el cual teóricamente tendría un R = 41 dB para f = 500 Hz, si se hace la medida se verá que solo es de aproximadamente de 17 dB, si se recubre con un aplanado de cal-arena, su masa aumenta a solo 125 Kg/m². y R aumenta a 41 dB que corresponde a la ley de masa experimental, de aquí se deduce que el incremento no se debe al aumento de masa sino de hacer estanca la pared.

PAREDES MULTIPLES.

Paredes Dobles. - El índice de debilitamiento no aumenta rápidamente a medida que aumenta la masa de una pared sencilla, hay que encontrar medios adecuados para aumentar sin elevar excesivamente la masa, uno de estos medios consiste en fraccionar la pared en dos elementos separados, el problema que se presenta son las uniones ya que para obtener eficiencia acústica deberían estar separados uno de otro, hay que buscar una junta elástica.

La cámara de aire o espacio entre muros puede ser relleno por un material absorbente, ya sea ocupando toda la cámara de aire o únicamente en su perímetro, esto es principalmente para superficies acristaladas, esto se hace para aumentar el índice de debilitamiento, es neces-

rio utilizar dos materiales de masa y rigidez diferentes de tal forma que las dos paredes no tengan la misma frecuencia crítica, si uno de los paneles no aísla, el otro sí aísla, además es conveniente que la frecuencia del sonido incidente sea inferior a la frecuencia de resonancia de la pared doble, ya que es así cuando es mejor el índice de debilitamiento que el de una pared simple de la misma masa.

Para las paredes dobles compuestas por paneles ligeros es interesante aumentar la distancia entre paneles y cuando están compuestos por paneles relativamente pesados una distancia pequeña no es perjudicial, pero hay que tener cuidado y no poner mucha distancia entre paneles ya que esto puede ser el origen de resonancias debido a su volumen, cuando el espesor de la cámara sea reducido, la frecuencia de resonancia del conjunto debe orientarse hacia las frecuencias bajas, inferiores a 80 Hz, en el segundo caso (espesor grande) la frecuencia de resonancia de la cámara está orientada hacia las frecuencias agudas, superiores a 4 000 Hz.

Para conocer las frecuencia crítica -de resonancia- para una pared doble utilizamos una de estas ecuaciones:

$$F_{res} = 840 \frac{1}{d} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)$$

la ecuación anterior se utiliza cuando las ondas incidentes son oblicuas, cuando la incidencia es normal se utiliza la fórmula:

$$f_{res} = 600 \frac{1}{d} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)$$

Donde:

d = distancia entre paneles en cm.

m_1 = masa del panel 1 en Kg/m².

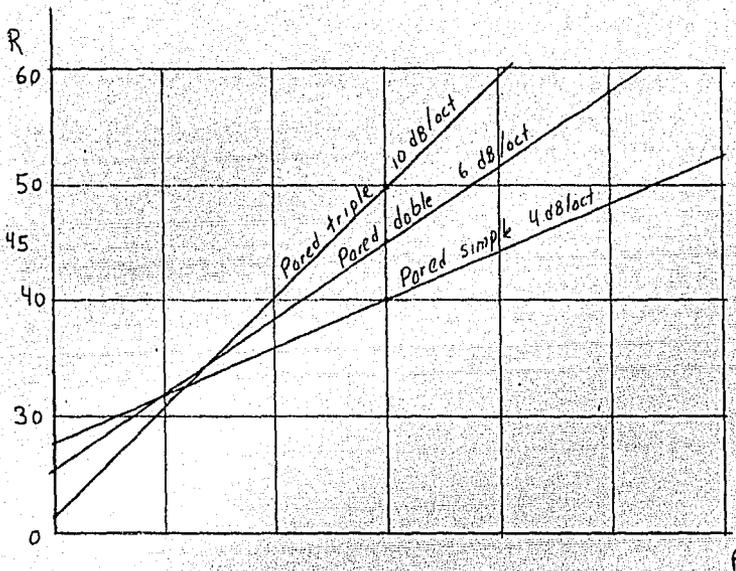
m_2 = masa del panel 2 en Kg/m².

Para las paredes dobles la caída es de 6 a 8 dB por octava y existen defectos de aislamiento para las frecuencias críticas de las dos paredes para la frecuencia de resonancia de la pared y para la frecuencia de resonancia de la cámara de aire.

PAREDES TRIPLES.

Cuando se necesita un alto índice de debilitamiento acústico como pudiera ser para un cuarto de ensayo de motores, se puede disponer de una pared triple, donde la masa se reparte en tres paneles, aquí el efecto de pantalla es muy importante, la elección de la naturaleza de sus elementos es más delicada que en una pared sencilla o doble, cada uno de los tres paneles tienen una frecuencia crítica y las dos cámaras de aire aportan una frecuencia de resonancia.

Para una pared triple, la pendiente media de la gráfica del índice de debilitamiento en función de la frecuencia, es del orden de 10 dB por octava y el aumento del índice de debilitamiento medio con relación al de una pared doble es de 5 dB -de igual manera una pared triple tiene un aumento de R medio con relación al de una pared simple de 5 dB-



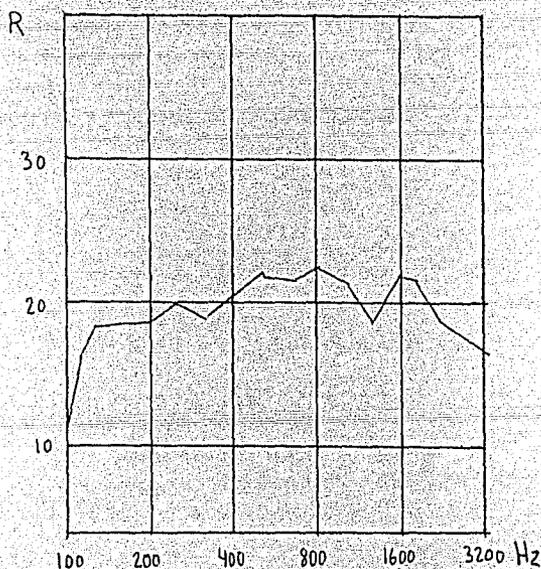
PUNTOS DEBILES DE LOS MUROS

a) Puertas. - Es inútil prever un muro muy aislante si en él se abre una puerta ligera y poco estanca al aire, la primera condición que hay que procurar es que no pase el aire por las rendijas entre la pared y la puerta, se puede sin embargo asegurar en determinados casos una reducción del ruido transmitido por las rendijas, no haciendo totalmente estancas sino tratándolas con materiales acústicos.

Solo se pueden poner puertas estancas si se han previsto dispositivos de ventilación en los locales.

Aunque la impermeabilidad al aire sea necesaria para obtener un buen aislamiento sonoro, particularmente para las frecuencias agudas,

no hay que deducir de ello que una puerta normal que cierre perfectamente - sea suficiente, en ocasiones es necesario el aislamiento del tablero pues una puerta normal aunque no deje pasar el aire solo da un aislamiento que no pasa en general de los 30 dB, siendo del orden de 15 a 20 dB si no es perfectamente estanca, teniendo así una gráfica R - f.



Por otra parte, a las puertas estancas con tablero simple se les puede aplicar la ley de la masa.

Generalmente se utilizan dos procedimientos para mejorar el aislamiento: La estructura hueca y el aumento de peso, la puerta con tablero doble formado por dos tableros separados por una cámara de aire de por lo menos de 6 a 10 cm. produce un aumento del aislamiento sonoro que puede ser del orden de los 10 dB, esto es poniendo una junta de lana mineral en-

tre los tableros, nuevamente se recordará que es importante que no haya enlances rígidos entre ambos tableros.

El segundo método consiste en aumentar su peso, por ejemplo llenando los espacios vacíos de las puertas huecas con arena, esto necesita de una carpintería reforzada o recurrir a puertas metálicas y llenarse de concreto llegando a tener una masa de hasta 300 Kg/m².

b).- Ventanas. - Presentan las mismas dificultades que las puertas, para ventanas bien estancas -sencillas o dobles- se pueden adoptar cifras de $R = 25$ dB, se puede obtener alguna mejora empleando vidrios gruesos -es mejor utilizar un vidrio grueso que son sencillos- aumentando el aislamiento de 3 a 4 dB.

Se puede obtener mayor aumento empleando ventanas dobles (marco doble) sobre todo si se rodea el espacio interior con un material absorbente, el doble vidrio con un solo marco es menos eficaz, ya que el aumento de aislamiento corresponde solo al aumento de masa ya que la cámara de aire que generalmente es de poco espesor tiene poca eficacia debido a los enlaces rígidos del marco.

Al igual que en las puertas hay que checar la junta entre el marco de la ventana y el muro, porque si existe una separación es fácil que ondas sonoras penetren, sobre todo en las frecuencias altas.

El problema que se presenta cuando la ventana es estanca es que si la habitación no dispone de aire acondicionado, la habitación tendrá ventilación insuficiente y en épocas de altas temperaturas ambientes, se --

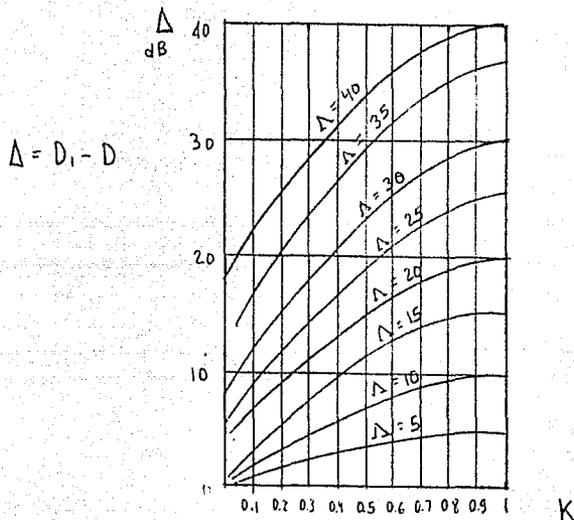
tendría la necesidad de abrir las ventanas y de nada serviría el tratamiento acústico dado.

TRATAMIENTO DEL SONIDO POR ABERTURAS Y PAREDES HETEROGENEAS.

Las paredes no son de construcción uniforme en toda su extensión, tienen partes de naturaleza y superficies diferentes, éstas deben tener índices de debilitamiento lo más próximos posibles unos a otros. Para puertas que ocupen una superficie del 10 al 20% de la superficie total de la pared, hay que evitar que el índice de debilitamiento de la abertura no descienda más de 10 dB por debajo del índice de la propia pared.

Se mencionará un método para calcular el aislamiento sonoro de un muro compuesto por distintos elementos.

Se calcula primeramente el aislamiento sonoro de cada una de las partes, sea por ejemplo, D_1 el aislamiento del muro propiamente dicho, de Superficie S_1 y D_2 el aislamiento de la puerta de superficie S_2 , si suponemos que $D_1 > D_2$ llamaremos al muro "elemento pesado" y a la puerta "elemento ligero". El Aislamiento sonoro del conjunto es igual a $D = D_1 - \Delta$ donde Δ es la pérdida dada por el ábaco de Pílon:



EJEMPLO:

Puerta de 1×2.5 m. en un muro de tabique de densidad 70 Kg/m^2 . de 3×4 m.

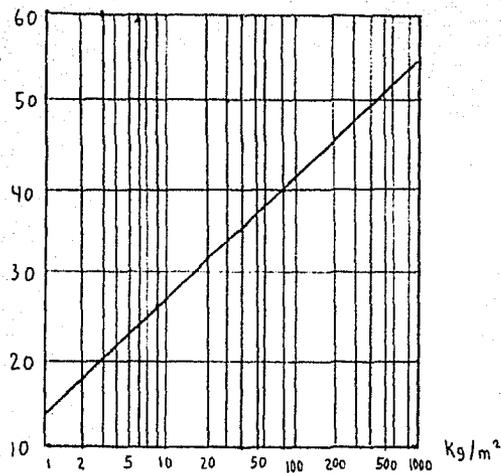
$$S_1 = 3 \times 4 - 1 \times 2.5 = 9.5 \text{ m}^2.$$

$$S_2 = 1 \times 2.5 = 2.5 \text{ m}^2.$$

$$K \text{ (del ábaco de pilón} = \frac{S_2}{S_1 + S_2} = 0.21$$

$$S_1 + S_2$$

Para obtener el aislamiento sonoro del muro se puede obtener de la ley de la masa que gráficamente sería:



VARIACION DEL AISLAMIENTO SONORO DE LA PARED
PARA LOS RUIDOS AEREOS EN FUNCION DE SU PESO.

De esta gráfica tenemos que $D_1 = 37$ dB

y $D_2 = 15$ dB -del párrafo anterior-

Entonces:

$$\Delta = D_1 - D_2 = 37 - 15 = 22 \text{ dB}$$

En el ábaco de Pilón entramos con el valor de $K = 0.21$ trazando una vertical hasta $\Delta = 22$ (interpolando) ahí encontramos que $\Delta = 16$, o sea que el aislamiento sonoro del muro es en lugar de 37 dB, es aproximadamente:

$$D = D_1 - \Delta$$

$$D = 37 - 16$$

$$D = 21 \text{ dB}$$

CAPITULO III

RUIDOS DE IMPACTO Y RUIDOS DE LAS INSTALACIONES

PRIMERA PARTE

RUIDOS DE IMPACTO

GENERALIDADES
ENTREPISOS
FALSOS PLAFONES
MEDIDA DE LOS RUIDOS DE IMPACTO
SUELOS FLOTANTES
PARQUET
OTROS RECUBRIMIENTOS DEL SUELO

SEGUNDA PARTE

RUIDOS DE LAS INSTALACIONES

GENERALIDADES
RUIDOS DE LAS INSTALACIONES
HIDRAULICAS Y SANITARIAS
RUIDOS DE LA CALEFACCION

CAPITULO III

RUIDOS DE IMPACTO Y RUIDOS DE LAS INSTALACIONES

PARTE I: RUIDOS DE IMPACTO

GENERALIDADES.

Contrario a los ruidos aéreos, los ruidos de impacto son aquellos que tienen su origen en la excitación directa de una pared o losa por una fuerza, esta fuerza puede ser el resultado del choque entre un objeto (mueble, martillo) o una persona y la losa, también puede ser producido por una máquina en contacto con la pared.

Uno de los ruidos más molestos en una construcción es el producido por la gente que anda por el piso de encima, y éste es considerado como un ejemplo típico de ruidos de impacto.

Los ruidos de impacto se irradian a los locales por las paredes recorridas por las vibraciones generadas, estas vibraciones no se distinguen en nada, de las que comunican a las paredes los ruidos aéreos emitidos en los locales o de las que emanan de instalaciones.

Si producimos un ruido aéreo en una habitación de un edificio, las personas que pueden ser molestadas en general son los ocupantes de las habitaciones inmediatamente próximas al local emisor, mientras que si un ocupante clava un clavo en un muro, el ruido puede molestar a todo el inmueble ya que la energía comunicada al muro se reparte rápidamente por éste y todas las paredes ligadas a él.

Cuando un peso cae al suelo, parte de la energía cinética se convierte en calorífica y parte en energía sonora. ¿Que fracción de la energía de un martillazo se convierte en energía calorífica y que fracción en energía acústica depende exclusivamente de la superficie en la que el golpe incide, generalmente cuando el golpe incide sobre una superficie dura se convierte en sonido un porcentaje de la energía cinética mayor que cuando el golpe cae sobre una superficie blanda, la cantidad de ruido recibido por una persona situada al otro lado de la superficie, depende de la transmisión del sonido a través del espacio sólido interpuesto.

Se puede considerar que cuando una pared es buena desde el punto de vista del aislamiento contra los ruidos aéreos, o sea cuando es sólida y pesada, es deficiente desde el punto de vista del aislamiento contra los ruidos de impacto y viceversa, la masa de la pared no juega un gran papel, solo es necesario actuar sobre los revestimientos de superficie o sobre un corte de los materiales para obtener una amortización suficiente.

Para iniciar el estudio de este capítulo haremos una analogía de una barra metálica con una losa de concreto.

ción entre el acero y el producto es en gran parte reflejada y sólo una pequeña es transmitida.

- 3.- Si dejamos un trozo de material duro en el producto resiliante - resistente a la rotura por choque- se crea una ligazón rígida entre las dos partes de la barra, entonces - las vibraciones encuentran un camino apropiado para su propagación y la mayor parte de la energía pasa de una parte a otra.
- 4.- Podemos también colocar un material resiliente sobre la barra, en el lugar en que se produce el impacto, o sea - como colocar un pedazo de hule entre el martillo y el yunque.

ENTREPISOS

Lo que se vió anteriormente en el caso de la barra se puede aplicar a el caso de los suelos.

Cuando se golpea una losa, una parte de la energía es reflejada y otra es transmitida al nivel inferior, para evitar esta última es necesario reducir la cantidad de energía transmitida al aire, para lograrlo tenemos entre otros, los siguientes métodos:

-
- 1.- Disminuir la cantidad de energía suministrada al suelo, para esto es necesario situar sobre la cara superior del material un producto elástico y esponjoso.
 - 2.- Situar un obstáculo en el recorrido de las ondas de vibración que se propagan en la losa. Para esto es suficiente

realizar un corte material en el que se situará un material resiliente, ésta es la técnica de la losa flotante.

Los choques sobre los suelos producen la vibración no sólo del suelo sino también de todas las paredes que están rígidamente unidas a él, dada esta situación que es contraria a las ideas de la mayoría de los constructores que dicen que el problema de los pisos de las cocinas no tiene importancia ya que están sobre otras cocinas, ellos no toman en cuenta al ocupante de la sala de estar situada al lado de la cocina del piso inferior.

FALSOS PLAFONES

Hay gente que piensa que la panacea para este problema son los cielos rasos suspendidos, no toman en cuenta que las vibraciones del suelo sometido a un choque producen ruidos aéreos entre el suelo y el techo suspendido, éste último debe aislarse contra los ruidos aéreos, pero como en general, no pueden ser muy pesados es necesario que sea estancos y poco rígido para que su frecuencia crítica sea lo más alta posible.

Los puntos de suspensión deberán ser muy flexibles de tal forma que las vibraciones no se transmitan directamente del suelo al techo.

Además un techo suspendido permite atenuar débilmente los ruidos de impacto transmitidos de un piso al piso inferior, pero no atenúa las transmisiones del local a otro del mismo nivel debido a las transmisiones a través del suelo.

MEDIDA DE LOS RUIDOS DE IMPACTO

En los ruidos de impacto, el ruido aéreo producido por el impacto en la habitación emisora sólo tiene una pequeña relación con el ruido

radiado a la habitación inferior, si por ejemplo golpeamos un suelo en el que se ha creado un corte, el ruido aéreo en la habitación emisora puede ser muy importante, mientras que el ruido transmitido al piso inferior es muy pequeño, pero si se golpea sobre un revestimiento del suelo de tipo tapiz el ruido es pequeño no solamente en la habitación emisora, sino también en la habitación receptora, la diferencia entre los niveles en la emisión y en la recepción no aporta casi nada, lo más importante es saber cual es el nivel sonoro transmitido a las viviendas próximas cuando se produce un impacto en una de las habitaciones.

Para hacer la medida se utiliza una máquina de choques que golpea el suelo a razón de 10 golpes por segundo, producidos por cinco martillos de 500 grs. que caen desde una altura de 4 cm. sobre el suelo, cuando esta máquina de choques funciona en una habitación se mide el nivel sonoro que se percibe en las otras habitaciones.

Un revestimiento del suelo puede comportarse de una forma perfectamente elástica si no se comprime bajo el efecto del choque, por el contrario si es aplastado bajo el impacto su comportamiento es muy diferente y su eficacia se reduce sensiblemente.

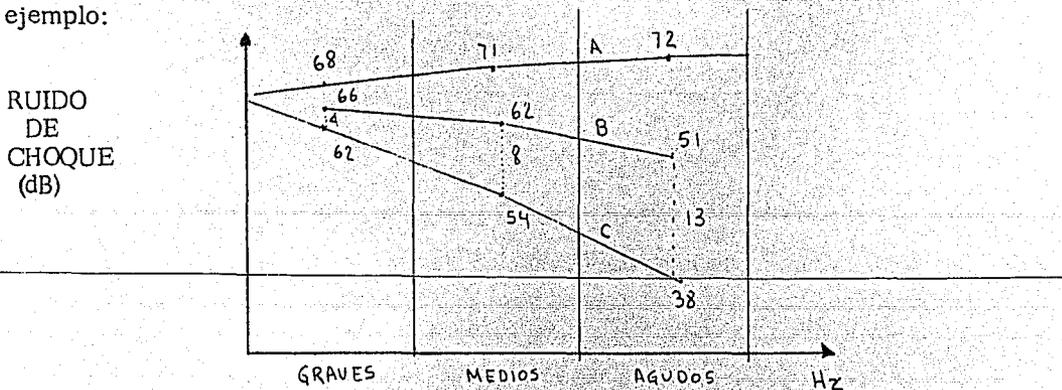
Es recomendable que el nivel de presión acústica normalizado no debe sobrepasar los 70 dB(A) en las habitaciones principales (estancia y recámara) de otra vivienda, la medida puede hacerse en locales situados en el mismo nivel de la habitación emisión o en habitaciones situadas en diagonal.

Hay definido un índice de calidad acústica de los revestimien-

tos del suelo que permite comparar sus resultados acústicos frente a los ruidos de impacto, es conocido como índice de mejora β de los ruidos de impacto. Se determina comparando las mejoras en diferentes bandas del revestimiento del suelo con relación a lo especificado en el reglamento: Es necesario que el nivel de presión acústica normalizado por tercios de octava en las habitaciones principales de una vivienda no sobrepasen los siguientes valores:

Frecuencias Graves	66 dB
Frecuencias Medias	62 dB
Frecuencias Agudas	51 dB

Se obtiene la diferencia D entre la disminución del ruido de choque aportado por el revestimiento del suelo y los valores reglamentarios, se añaden 21 dB a los tres valores (frecuencias graves, agudas y medias) de la diferencia D y se toma el valor más pequeño de los valores obtenidos, ejemplo:



Ejemplo: $21 + 4 = 25$ $21 + 8 = 29$ $21 + 13 = 34$

$\beta = 25$ dB

- A: nivel sonoro bajo la losa desnuda cuando actúa la máquina de choques
- B: Reglamentación: el confort de una vivienda este satisfecho si el nivel sonoro bajo el suelo no sobrepasa los valores superiores
- C: nivel sonoro bajo la losa con su revestimiento del suelo.

SUELOS FLOTANTES

Recordando lo visto anteriormente diremos que las dos principales soluciones al problema de aislamiento de ruidos de impacto son:

1. - Alternar en la losa materiales rígidos y materiales resilientes
2. - Revestir el suelo con un material elástico y flexible

Losas Flotantes de Concreto.

Consiste en una losa de concreto de 4 cm. de espesor colocada sobre una subcapa constituida por una manta de lana mineral, de fibra de madera, de corcho o de plástico expandido, con un espesor entre 5 y 20 mm, todo esto va sobre la losa estructural ($h = 14$ cm) o soporte.

Método de Construcción.

- a - Suelo Soporte. Esta losa debe presentar un acabado "pulido" similar cuando se prepara para recibir alfombra, es conveniente que no haya canalizaciones sobre el suelo soporte, si los hubiera habrá que cubrirlos con un mortero de arena fina y cal o cemento, en una propor-

ción de 50 a 100 Kg. de cemento o de cal por m³ de arena, si no se hace esto se podría formar un punto duro entre la losa flotante y el suelo.

- b.- Subcapa. La cara superior debe ser estanca, impide que la lechada penetre en el material resiliente que crearía una ligazón rígida, si la capa es gruesa, las juntas son a hueso por el contrario si es delgada se puede traslapar. Es necesario levantar la subcapa a lo largo de todos los elementos que atraviesan el suelo soporte y cuando sea necesario prever canalizaciones verticales que pasen a través del suelo, es conveniente situarlas antes de colar la losa flotante deberían ser cubiertas con un forro flexible para evitar que a través de la canalización pase el ruido.
- c.- Losa flotante. Como se dijo anteriormente es una losa de concreto armado, es posible prever una losa sin armar o también una capa delgada con cemento mejorado con aditivos (resinas sintéticas).

Valores del Índice de Mejora con diversos tipos de Subcapas.

La eficacia de las losas flotantes en las frecuencias graves aumenta cuando el espesor de la subcapa aumenta.

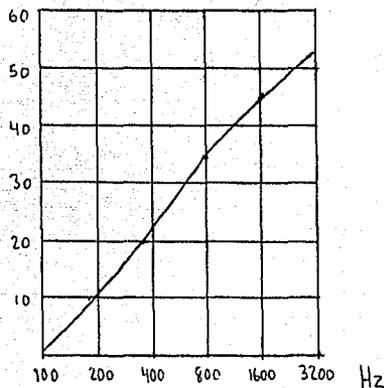
A continuación se dan algunos valores obtenidos con losas flotantes de concreto $h = 4$ cm., el suelo soporte es una losa de concreto $h = 14$ cm.

SUBCAPAS	ESPESOR (cm)	INDICE DE MEJORA dB
Lana de roca	0.9	26 (26-38-39)
	2	31 (31-38-37)
Lana de Vidrio	0.25	23 (23-28-31)
	1.30	28 (28-46-47)
Hule (Caucho)	0.4	19 (22-19-22)
	1.2	25 (25-35-44)
Poliestireno expandido	1.0	20 (20-29-35)
Fragmentos de pol. exp. sobre fieltro	0.5	23 (23-29-32)
Corcho encolado sobre fieltro bituminoso	0.5	19 (19-23-34)
Fieltro textil	0.8	21 (21-33-40)
Partículas de tejidos	1.0	24 (24-37-39)

Los números entre paréntesis corresponden a los índices de mejora en las frecuencias graves, medias y agudas. El índice de mejora -- corresponde al menor de esos tres valores.

La eficacia aumenta desde las frecuencias graves hacia las -- frecuencias agudas.

DISMINUCION
DEL RUIDO
DE CHOQUE
(dB)

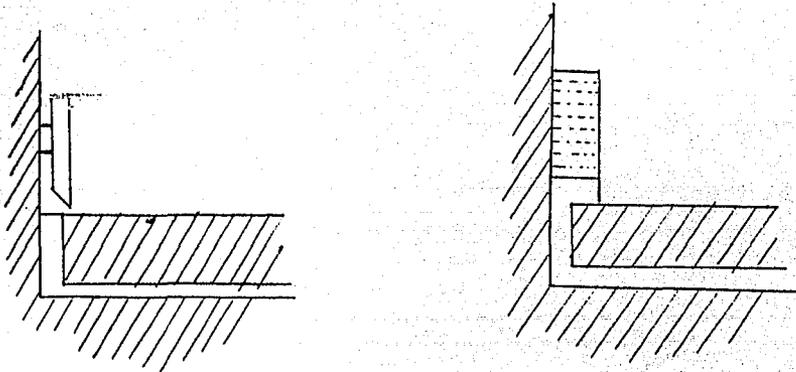


Efectos de Imperfecciones en la realización de las losas flotantes.

Como se ha dicho en varias ocasiones, lo más importante es que no haya ninguna ligazón rígida entre la losa flotante y el suelo, esto puede ser debido a la presencia de gravas.

Otro punto importante que hay que cuidar es el de un posible punto duro entre la losa flotante y una pared vertical que puede ser debido a una mala elevación en el zoclo de la subcapa o a una falta de precaución durante la colocación de los zoclos, los zoclos rígidos fijados a los muros no deben tocar a la losa flotante, a continuación se ilustran algunos ejemplos -

de como resolver estos problemas:



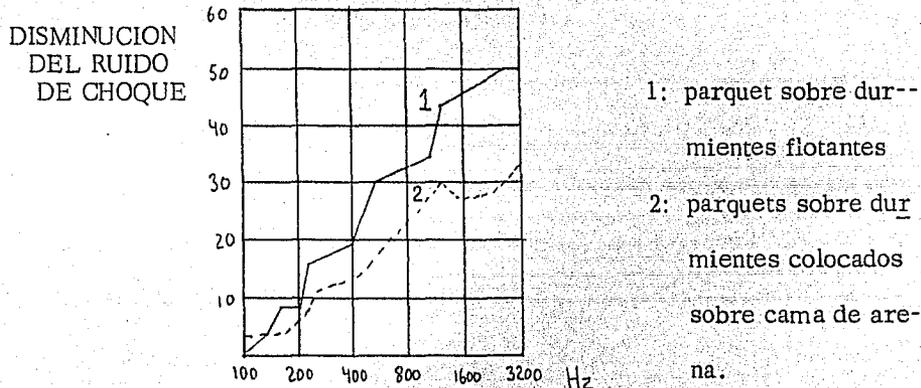
PARQUET

Otra solución al problema de los ruidos de impacto es la colocación de pisos de parquet de madera sobre durmientes o pagados directamente, su aportación está basada en la diferencia de elasticidad entre la madera y el concreto, cabe mencionar que no siempre es suficiente esta medida para asegurar un confort acústico satisfactorio.

a. - Parquet sobre durmientes.

Van clavados sobre durmientes que a su vez están clavados sobre la losa soporte, permiten obtener índices de mejora para los ruidos de impacto de 19 dB aprox. los índices de mejora se obtienen en las frecuencias graves. Para mejorar los resultados se pueden llenar los espacios interdurmientes con lana mineral, otras opciones pueden ser colocar yeso entre los durmientes y el suelo soporte o colocar los durmientes sobre una cama de arena. Pero sin duda la mejor colocación de este material es parquet sobre durmientes flotantes, donde están situados sobre mantas resilientes,

la eficacia es mucho más importante sobre todo en las frecuencias medias y agudas.



Es importante mencionar que la subcapa no debe ser atravesada por cuerpos duros (clavos).

b.- Parquet pegado en el suelo.

Cuando el parquet es colocado sobre el soporte es menos eficaz que cuando está sobre durmientes, el índice de mejora es en este caso de 6 a 8 dB que puede aumentar a su vez eligiendo el pegamento para, aumentar el aislamiento se puede utilizar parquets flotantes o sea colocar una subcapa (corcho, hule, fibras vegetales) sobre el soporte y pegar el parquet sobre la subcapa.

Pavimentos Pétreos

Para obtener un aislamiento suficiente para los ruidos de impacto con un revestimiento de este tipo es necesario situarlos sobre una losa flotante, el índice de mejora de un pavimento sobre el soporte es cero, pero si se sitúa sobre una cama de arena de 4 cm. de espesor puede alcan-

zar hasta 15 dB, algunas losetas se colocan con asfalto, pero esto sólo disminuye el ruido del lado de la fuente, ya que parte de la energía se pierde en calor en el asfalto -tiene fuertes pérdidas internas-

Losetas Vinílicas

En México se fabrican dos espesores en las losetas vinílicas que son de 1.6 y 2.0 mm. lo que resulta ser demasiado delgada y poco flexible para aportar una mejora sensible, cuando se colocan directamente sobre la losa soporte tienen un índice de mejora de 1 a 5 dB dependiendo de su rigidez (1 para los rígidos y 5 para los flexibles). Debido a su espesor no pueden colocarse sobre mantas resilientes, lo que se puede hacer es pegar las losetas a un tablero de partículas y esto sobre una plancha de corcho, si colocamos el revestimiento sobre un cartón fieltro tiene un índice de mejora de 21 dB, hay determinados revestimientos que tienen desde su fabricación una subcapa de fieltro.

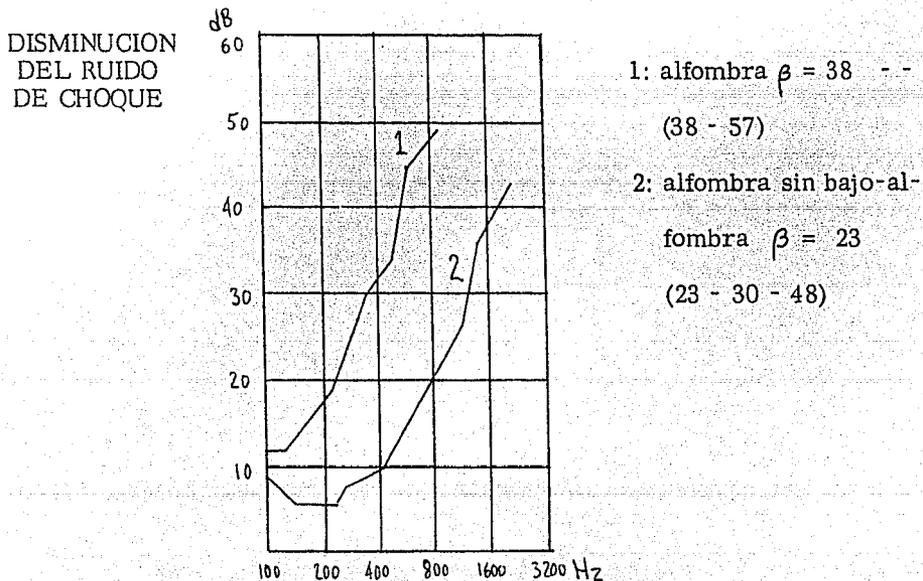
Pavimentos de Hule

Estos recubrimientos se presentan bajo formas de losetas o de bandas, su eficacia depende de la dureza y del espesor del hule utilizado, el índice de mejora varía entre 12 y 30 dB uno de sus defectos consiste en el ~~alto coeficiente de fricción del material, lo cual origina problemas al desplazamiento de objetos o personas.~~

Recubrimientos Textiles del Suelo

Después de la losa flotante este es el que da mejores resultados contra los ruidos de impacto, vienen siendo los tapetes, alfombras, etc. se colocan directamente sobre la losa soporte -obviamente colocado sobre -

bajo- alfombra que es generalmente de henequén o algodón, esto ayuda a --
 elevar el índice de mejora- este tipo de recubrimiento ayuda no sólo a dis--
 minuir el ruido de impacto en el local receptor sino también en el emisor.



Diversos Recubrimientos del Piso

Los siguientes revestimientos permiten obtener una regular atenuación de los ruidos de impacto:

- 1.- Losetas de corcho pegadas sobre la losa soporte.
- 2.- Recubrimientos a base de gránulos duros mezclados con hule, sustancias a base de carbono e hidrógeno (betún) que pueden colocarse in situ. Es importante hacer notar que es satisfactorio el principio de los gránulos duros mezclados con un ligante flexible, mas no es reco-

mendable el principio de los gránulos flexibles mezclados con un ligante rígido.

Para finalizar esta primera parte del capítulo III mencionaremos algunos valores de β y L (nivel del ruido de impacto en dB (A) que existe debajo de tales suelos cuando se recubren con el revestimiento ensayado.

RECUBRIMIENTOS	INDICE DE MEJORA	L dB (A)
Alfombra sobre bajo alfombra	30 a 40	45 a 55
Losa flotante sobre fibras minerales	25 a 30	55 a 60
Alfombra de hule con subcapa celular	25 a 33	52 a 60
Entarimado de paneles sobre aserrín	28	57
Losa flotante sobre corcho (pedazos) adheridos a fieltro bituminoso	21	66
Li noleum	7	78
Alfombra PVC sobre espuma	23	63
Alfombra vinilica sobre fieltro	16 a 22	66 a 75
Mosaico sobre fibras de madera impregnadas	21	67
Losa flotante sobre alfombra de fibra veg.	18	73
Mosaico pegado a corcho aglomerado	18	73
Alfombra sin base textil	1 a 5	79 a 82
Mosaico pegado	8	77

SEGUNDA PARTE

RUIDOS DE LAS INSTALACIONES

GENERALIDADES.

Por lo general todas las instalaciones de un edificio son fuentes de ruido, tales como:

Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias

Instalaciones de Clima Artificial (calefacción) y en menor escala:

Gas, electricidad, ascensores, trituradores de basura, etc.

Transmisión de Vibraciones por las tuberías.

Las diversas conducciones que recorren un edificio (agua, calefacción, etc.) constituyen excelentes vías de transmisión para las vibraciones, estas pueden ser las causadas por elementos de las instalaciones (bombas, grifos, etc.) o las resultantes de choques contra las canalizaciones, contra las paredes donde se apoyan o contra los elementos de las instalaciones unidos a las conducciones.

Las vibraciones así transmitidas son irradiadas en forma de sonidos por las propias canalizaciones, por las paredes a las que están fijadas y por las instalaciones que alimentan.

RUIDOS DE LAS INSTALACIONES HIDRAULICAS Y SANITARIAS

El conjunto de estas instalaciones básicamente está compuesto por tuberías de fierro galvanizado para las alimentaciones y desagües de poco diametro, y de cobre para el ramaleo, teniendo su fin en grifos o en

muebles sanitarios. La circulación del agua por una tubería puede ser origen de un ruido mayor será este cuando el diametro de la tubería es menor y mayor la velocidad de circulación. El ruido se produce a causa de las diferentes turbulencias que se originan en el líquido -las turbulencias sólo se originan cuando el número de Reynolds sobrepasa cierto valor límite-

Se hicieron medidas del ruido ocasionado por un flujo de agua en una tubería de cobre de 16 mm. sujeta a un muro de tabique, en un local de 22 m³. dando los siguientes resultados:

<u>Velocidad m/seg</u>	Niveles de Ruido en dB (A)		
	Espesor del muro (cm)		
	3.5	5	14
0.10	23	39	26
0.55	29	39	26
3.40	51	50	47
5.20	54	53	48

El conjunto de tubería que está fijado a los muros del edificio comunica su vibración a los muros y a los suelos.

Para el estudio de los ruidos dividiremos a las instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en tres partes:

1.- Alimentación

- 2.- Muebles sanitarios
- 3.- Drenaje de aguas negras (vaciado)

Alimentación

La principal fuente de ruido son los grifos y las bombas.

Grifos

El agua al franquear los obstáculos -codos, estrangulamientos, etc. en el interior de un grifo, forma torbellinos que pueden ir acompañados de cavitación, los diversos movimientos originan variaciones de presión que son conducidas por las fijaciones a los muros, cada uno de los elementos puestos en vibración (grifo, fluido, tubería y muros) irradian ruido, si recordamos la ecuación de continuidad $Q = A.v$ observamos que para velocidades fuertes, el caudal es grande y por ende se origina turbulencia y se producen ruidos, si disminuimos la sección, las vibraciones son mayores - un grifo poco abierto puede hacer más ruido que uno totalmente abierto.

Es importante estudiar el perfil del grifo, el cual es conveniente que no presente ángulos y codos cerrados, los cambios de sección deben ser graduables. Si cerramos bruscamente el grifo puede dar lugar a otro tipo de ruido: el golpe de Ariete, resultado de la onda de choque que - ~~tras haberse cerrado el grifo tiende a volver hacia atrás, puede atenuarse -~~ colocando en la proximidad un amortiguador -antiarrietes- que almacene gran parte de la energía de onda de choque.

Se puede reducir el ruido producido por un grifo, acoplándole una junta flexible entre el grifo y la tubería.

Transmisión del ruido a lo largo de las tuberías.

Las tuberías intervienen como transmisoras de las vibraciones y por tanto son fuentes de ruido, producen ruidos aéreos, como están ligadas a la estructura comunica una parte de esta energía a los elementos -- que está fijada, para evitar esto hay tres soluciones básicas:

- 1.- Dificultar la transmisión de las vibraciones a la tubería.
- 2.- Limitar la producción de los ruidos aéreos por la tubería en vibración.
- 3.- Impedir la transmisión de las vibraciones de la tubería a los elementos en que está sujeta.

Tanto el agua como la tubería pueden transmitir una vibración, las velocidades de propagación son muy diferentes, aprox. 1 000 m/s. en el agua y 4 000 m/seg. en la tubería, para evitar la propagación se puede hacer un corte elástico -como en el caso de ruidos de impacto- poniendo una junta de material flexible, que puede ser neopreno por ejemplo, es posible cortar la envoltura, pero no la columna de agua, para compensar esto es necesario colocar varias juntas en la tubería -separación máxima 6 m. y sobre todo una cerca de la salida o grifo, otra solución a las vibraciones transportadas por el agua es la colocación de silenciadores, que pueden consistir en la simple disminución local de la sección del tubo.

Para evitar la propagación de ruidos aéreos producidos por la tubería se puede recubrir ésta con plástico, parte de la energía acústica se pierde en la unión entre los dos materiales.

Bombas

Las bombas, motores, etc. son fuentes importantes de ruido, es necesario pues elegir el local en que se van a situar, aislado por paredes pesadas, deben estar situadas sobre una bancada antivibratoria, que puede ser un bloque de concreto sobre un material elástico, este sistema debe adaptarse bien a las máquinas que soportan.

Muebles Sanitarios

Los muebles sanitarios son causa de ruidos lo mismo cuando se llenan que cuando se vacían: lavabos, W.C., bidets, tinas, fregaderos, lavaderos, etc.

Los ruidos de llenado resultan del paso del agua por los grifos, válvulas, etc. y del choque del agua contra las paredes de los muebles, los primeros se suprimen eligiendo aparatos silenciosos a este respecto - ver grifos- y los segundos, básicamente en el caso de tinas, escogiendo equipos concebidos de forma que limiten dicho ruido, ya sea aislándolos de la obra gruesa, dicho aislamiento debe ser en todo su contorno, para las tinas prefabricadas éstas se pueden montar sobre soportes de corcho grueso para evitar la propagación de las ondas vibratorias.

Los ruidos de desague son producidos por dos causas:

- 1.- Aspiración de aire, al terminar el vaciado por el céspeol o sumidero y agitación del agua contenida en el sifón.
- 2.- Mezcla con el agua del aire del rebosadero aspirado por la fuerte depresión que puede ocasionar aguas abajo del

sumidero de la instalación la caída del agua en la tubería de desagüe.

Para combatir la primera causa hay que prever un tubo de conexión entre sifón y descenso que tenga una pendiente pequeña y de diámetro superior al del sifón. La segunda causa se puede eliminar aumentando el caudal del sumidero o intercalando una pérdida de carga en el sifón.

Se han hecho estudios y se demostraron dos cosas: Que un sifón del tipo botella, por la pérdida de carga que crea, hace que el ruido de evacuación sea casi inaudible y reduce el gorgoteo posterior al vaciado, y segundo: Una toma de aire de igual sección que la de desagüe, colocada inmediatamente después del sifón elimina todo ruido de gorgoteo.

Para evitar el ruido de los W.C. habrá que colocar la taza sobre una losa flotante de 6 cm. de espesor, con una subcapa de 1.5 cm. y el tubo de desagüe cubrirlo con plástico. En el caso de los lavabos, éstos se pueden apoyar sobre sus consolas -muebles- por medio de arandelas de hule.

Se ve que los muebles sanitarios son fuentes de ruido que es difícil y costoso suprimir. También las habitaciones en que se encuentran y las habitaciones por las que pasan las tuberías son ruidosas, por tanto conviene en edificios agrupar baños y cocinas hacia cubos de escaleras y patios de servicio, otras reglas importantes son:

- 1.- Las tuberías de aguas negras y pluviales sean suficientemente pesadas.

- 2.- No fijar los muebles sanitarios y tuberías a paredes ligeras.
- 3.- No fijar nada sobre muros que separan la habitación en que se encuentran los muebles y una sala de estar o recámaras - caso que es difícil para las suites que tienen su baño privado.

RUIDOS DE CALEFACCION

Otro ruido molesto y difícil de resolver dentro de los edificios son los ocasionados por el sistema de calefacción, que comprende desde las calderas hasta las rejillas de inyección, estos ruidos son de frecuencias graves o medias y los muros simples o dobles aíslan mejor los ruidos agudos que los graves; todos los aparatos y ductos vibran y pueden transmitir su vibración a las paredes de la instalación, los ductos recorren todo el edificio y a su paso van distribuyendo un ruido muy desagradable.

Una solución sería situar el cuarto de máquinas fuera del edificio que da servicio, pero esta solución es muy costosa.

Estos ruidos se transmiten tanto por vía aérea como por vía sólida se debe distinguir si la transmisión se hace por vía aérea o por vibraciones.

Para determinar que parte pertenece a cada vía hay que hacer:

- 1.- a. Medir el ruido en la habitación cuando la calefacción está detenida.
- b. Medida de ruido en la habitación cuando la calefacción

funciona a su máxima potencia.

- c. Medida del ruido con la calefacción en marcha en el cuarto de máquinas.

La diferencia (c - b) da el aislamiento entre el cuarto de máquinas y la habitación. Una parte de la energía acústica que llega al departamento podrá ser transmitido por vía sólida (vibraciones).

- d. Se mide el aislamiento para los ruidos aéreos entre el cuarto de máquinas y la habitación. Detenida la calefacción se emite un ruido aéreo con un parlante -no tiene transmisión por vía sólida-
- e. Se compara (d con c) si no hay transmisión por vibración cuando la calefacción está en marcha, los dos resultados serían idénticos -el aislamiento para los ruidos de la pared es insuficiente-

Pero si el aislamiento obtenido cuando la calefacción está en marcha es inferior al aislamiento obtenido cuando está detenida, entonces existe transmisión por vibraciones.

Antes de todo es necesario suprimir esta transmisión, para después reforzar el aislamiento contra los ruidos aéreos.

Las vibraciones de los aparatos de calefacción pueden transmitirse a la estructura del edificio directamente por medio de la bancada (base) o bien por medio de los ductos unidos a estos aparatos y a las paredes

y losas del edificio, para evitar las vibraciones por la bancada habrá que colocarla sobre un material antivibración -corcho o resortes metálicos- algunas personas piensan que esto puede romper las tuberías unidas a la bomba, por la amplitud de vibración de la bancada, no toman en cuenta que deben ir unidas por juntas flexibles (neopreno). La bancada debe ser pesada, aprox. 4 veces el peso de la máquina, para que las amplitudes de vibración sean pequeñas. Si el cuarto de máquinas está en la planta baja del edificio, la losa soporte de la máquina se puede hacer directamente sobre el suelo, independientemente del piso de la sala de calefacción.

Las fijaciones de las tuberías a las paredes deben ser flexibles para evitar que estas paredes entren en vibración.

La sección de los ductos deberá estar calculada para que la velocidad no sea superior a 2 m/seg. Además el agua debe estar bien desgasificada que de lo contrario originaría silbidos. La presencia de protuberancias en los ductos igualmente originan silbidos.

Aislamiento contra los Ruidos Aéreos de las Máquinas y los Ductos

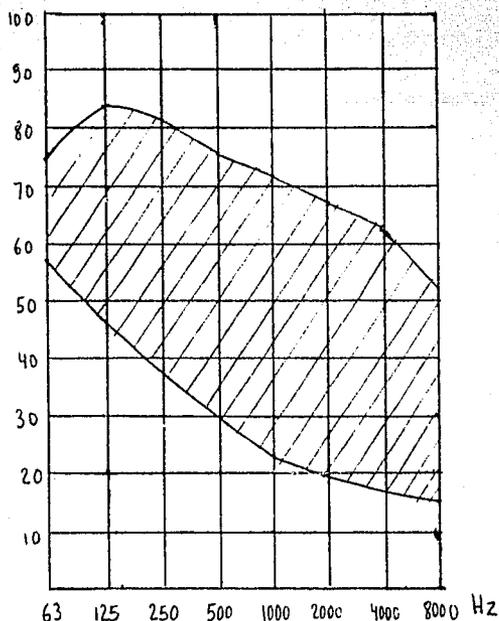
El nivel sonoro de una caldera es alto en las frecuencias bajas y medias. El nivel sonoro depende de entre otros factores de:

- a.- Potencia de la instalación
- b.- Tipo de aparatos elegidos
- c.- Mantenimiento de la máquina

La potencia de las calderas (a) se pueden dividir en tres grupos y producen los siguientes niveles de presión acústica:

POTENCIA	RUIDO MAXIMO dB		
	Frecuencias Graves	Medias	Agudas
Pequeña menos de 300 000 K cal/h	80	71	65
Media de 300 000 a 3 000 000 Kcal/h	87	78	72
Superior más de 3 000 000 Kcal/h	Ruido muy alto deben situarse en el exterior del edificio.		

Una caldera de potencia media tendría un ruido como el mostrado en la siguiente figura:



1. ruido de una caldera
2. nivel sonoro que no debe sobrepasarse.

La zona achurada representa el aislamiento que hay que obtener entre la caldera y el departamento

El ruido de la caldera percibido en el departamento no debe ser superior a 30 dB -curva 2 de la gráfica anterior, la diferencia en-

tre esas dos curvas es el aislamiento que hay que obtener, para obtener estos valores habría que construir una losa flotante en el cuarto de máquinas o un falso plafón con densidad mínima de 25 Kg/m² y la cámara de aire rellena de lana mineral.

Se puede disminuir el nivel sonoro en el departamento disminuyendo el nivel sonoro en el cuarto de máquinas - no cambia el aislamiento entre estos dos locales - para esto es posible revestir muros y techos con un material absorbente eficaz en las frecuencias graves (ver Cap. V) serían por ejemplo: Placas de Vermiculita montadas con membrana, paneles de fibragglio suspendidos, estas últimas gracias al peso del fibragglio aportan un aislamiento contra los ruidos aéreos, si esta enlucido por una cara ésta deberá ir hacia el departamento.

El perfecto funcionamiento de la máquina permite ganar algunos decibeles del ruido.

Para finalizar este capítulo mencionaremos que hay que tener cuidado con los ruidos debidos a la dilatación de las tuberías, para esto los pasos a través de traves, losas, etc. deben estar con holgura, además los ductos deben estar forrados con un material estanco para evitar un defecto de aislamiento de la pared a los ruidos aéreos además de ser flexibles para evitar la transmisión de las vibraciones de los ductos a la pared.

CAPITULO IV
MATERIALES ACUSTICOS

CLASIFICACION DE LOS MATERIALES ACUSTICOS

COEFICIENTE DE ABSORCION

TIEMPO DE REVERBERACION

PROPIEDADES DE ALGUNOS MATERIALES ACUSTICOS

CAPITULO IV

MATERIALES ACUSTICOS

Para que una construcción controle la contaminación por ruidos, debe reunir un cierto número de características sin las cuales no se efectúa un aislamiento, entre las más importantes está la adecuada selección de materiales acústicos y su debida colocación.

Desgraciadamente y como reflejo de una sociedad de consumo en la cual vivimos, somos víctimas de una lluvia de propaganda de materiales que son ofrecidos como la panacea en el problema del aislamiento y acondicionamiento acústico, entonces surge la pregunta ¿Sirven los materiales "acústicos" para resolver problemas acústicos tales como el ruido? Grande es la sorpresa cuando se demuestra que en la mayoría de los casos la respuesta es negativa, aunque se resuelven problemas como la distribución del sonido en locales cerrados.

La negativa de la pregunta se basa en que esos materiales --

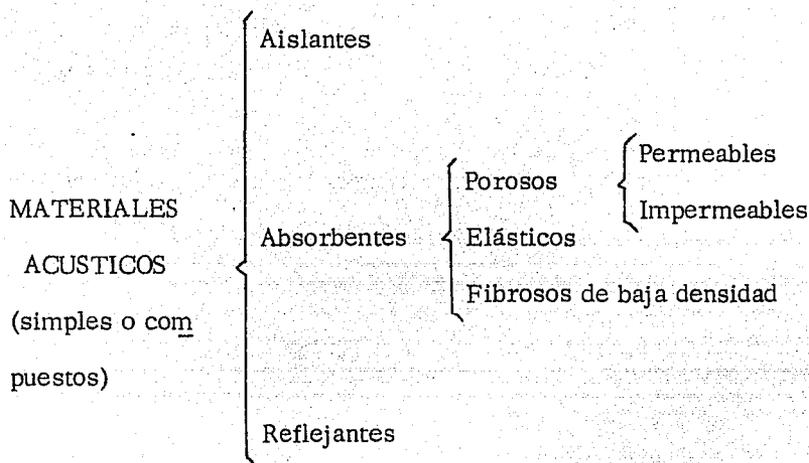
"acústicos" no son aislantes sino que son absorbentes.

La Norma Oficial D.G.N.C. 94-75 'Clasificación de Materiales Acústicos' señala:

- 4.1.1. Un mismo material puede ser buen absorbente, aislante o reflejante a determinadas frecuencias y a otras - puede ser malo.
- 4.1.2. Un mismo material puede ser aislante de comportarse como absorbente.
- 4.1.3. Existen materiales que aíslan la energía acústica causada por impacto, o por transmisión del aire.
- 4.1.4. Un material puede ser aislante, absorbente o reflejante a mayor o menor grado de acuerdo con el uso o el objetivo de su empleo.
- 4.1.5. En los procedimientos de aislamiento del fenómeno sonoro, suelen emplearse materiales de alta densidad o masivos.
- 4.1.6. En los procedimientos de absorción del fenómeno sonoro suelen emplearse materiales de alta porosidad o baja densidad.

De la cita anterior se deduce que los materiales funcionan de acuerdo a sus características y que la correcta elección del material determinará su funcionamiento adecuado.

En la misma Norma Oficial aparece la siguiente clasificación de los materiales acústicos:



Si analizamos el párrafo 4.1.6. vemos que los materiales absorbentes (alta porosidad, baja densidad) no son buenos aislantes, excepto - claro cuando se colocan directamente sobre la línea de transmisión como -- obstáculo - cualquier elemento colocado sobre una línea de transmisión di--recta o indirecta constituye un aislante - y que el sonido a aislar sea de muy alta frecuencia, pero hay que considerar que el ruido presenta espectros variados, siendo los más comunes los de frecuencias graves y medias, siendo estas no controladas por los materiales absorbentes, por lo tanto si añadi--mos estos materiales en muros, pisos y plafones de lugares cerrados, no --aislan y por ende no controlan la contaminación por ruido.

COEFICIENTE DE ABSORCION

Cuando las ondas de sonido chocan contra las paredes, son --parcialmente absorbidas y en parte reflejadas, para una pared plana, se --aplican las leyes de reflexión, semejantes a las que se aplican para la luz.

El coeficiente de absorción α define la fracción de la energía total de sonido que incide sobre la pared, que es absorbida por la pared o pasa a través de ella, α varía con la frecuencia del sonido, de manera que es preciso citar también la frecuencia.

El coeficiente de reflexión R es la relación de las presiones de sonido, de las ondas incidente y reflejada, se relaciona con el coeficiente de absorción mediante la siguiente fórmula:

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

El producto del coeficiente de absorción de una pared determinada multiplicado por su área en metros cuadrados, da el valor de la absorción en sabinos (el sabinio es la unidad de absorción acústica, equivale a 1 pie cuadrado -0.093 m²- de material cuyo coeficiente de absorción es 1.0 (superficie perfectamente absorbente).

A continuación se dan algunos coeficientes de absorción de materiales para construcción:

MATERIAL	ABSORCION SEGUN LA FRECUENCIA					
	128	256	512	1024	2048	4096
Acrilico 6 mm.	0.17	0.12	0.03	0.02	0.06	0.10
Alfombra	0.11	0.14	0.20	0.33	0.52	0.82
Agua	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
Caoba 6 mm.	0.38	0.29	0.03	0.01	0.03	0.03
Concreto	0.004		0.004	0.006	0.008	0.015

MATERIAL	ABSORCION SEGUN LA FRECUENCIA					
Corcho aglomerado 1"	0.08	0.30	0.31	0.28		
Corcho aglomerado 2"		0.28		0.36		
Fibra de vidrio 100 mm	0.75	0.96	0.96	0.90	0.84	0.74
Fibra de vidrio 50 mm	0.38	0.63	0.78	0.87	0.83	0.77
Ladrillo	0.024	0.025	0.032	0.042	0.05	0.07
Lana de Algodón 7"		0.62	0.89	0.96	0.97	0.93
Lana de Roca 4"	0.42	0.66	0.73	0.76	0.76	0.79
Linoleum	0.02		0.03		0.04	
Madera barnizada	0.05		0.03		0.03	
Madera 15 mm	0.09	0.11	0.10	0.08	0.08	0.11
Muro con yeso	0.013	0.015	0.020	0.028	0.04	0.05
Mármol	0.010		0.01		0.015	
Papel tapiz	0.02		0.04		0.07	
Parquet	0.05	0.03	0.06	0.09	0.10	0.22
Poliestireno 4 mm	0.07	0.32	0.07	0.05	0.02	0.01
Tela algodón s/func.	0.04	0.07	0.13	0.22	0.32	0.35
Tela algodón funcida	0.04	0.23	0.40	0.57	0.53	0.40

MATERIAL	COEFICIENTE DE ABSORCION					
	122	256	512	1024	2048	4096
Terciopelo s/fruncir	0.050	0.120	0.350	0.450	0.380	0.360
Terciopelo fruncido	0.07	0.31	0.49	0.81	0.66	0.54
Ventana abierta	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Vidrio	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
Yeso	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05

En cuanto a los muebles y a las personas, no puede darse un coeficiente de absorción, por lo que se da la superficie equivalente de absorción, así se evita estimar su superficie, lo cual a menudo es muy difícil.

Persona sentada	0.20	0.36	0.45	0.50	0.50	0.46
Butaca de plástico	0.15	0.40	0.40	0.40	0.30	0.25
Butaca de terciopelo	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60

El método aplicado para determinar el valor de la absorción de un material dado, es el de medir el tiempo de reverberación en una habitación proyectada especialmente.

TIEMPO DE REVERBERACION

Tiempo de reverberación, es el tiempo transcurrido en segundos entre el momento en que un sonido dado cesa y el tiempo en que ya no es posible oírlo más, es decir cuando su intensidad desciende por debajo de 10^{-16} w/cm², para calcularlo empleamos la fórmula de Sabine:

$$T = \frac{0.161 V}{A}$$

donde: V = volumen de la sala en m³

A = Superficie de absorción equivalente, igual a la suma de los productos parciales de las superficies componentes por sus coeficientes de absorción, correspondientes para la frecuencia media de 512 Hz $A = \sum (S:\alpha)$

S = Superficie (m²).

La duración de la reverberación no debe variar practicamente

te en función de la frecuencia, salvo para las frecuencias graves, en la que debe ser ligeramente más larga.

MATERIALES DE ALTO VACIO

Son materiales en los que el espacio ocupado por la parte sólida del material es comparativamente pequeña, siendo la mayor parte del volumen un gas, los materiales porosos de aislamiento pueden dividirse en los de poros abiertos y los de poros cerrados, a continuación se mencionan algunos de los más importantes para el aislamiento acústico.

PLANCHA DE CORCHO. - El corcho procede de la corteza del árbol denominado alcornoque que, está constituido por células tubulares de tejido orgánico, llenas de aire sin comunicación alguna entre si y aglomeradas con sustancias resinosas, entre sus propiedades físicas tiene: densidad de 150 a 260 kg/m³. resistencia a la compresión de 12 a 18 kg/cm², resistencia a la flexión de 4 a 8 kg/cm², este material es imputrescible y elástico, teniendo las ventajas que puede aserrarse, clavar y fijar y recibir con yeso, cemento y asfalto, su campo de aplicación es muy vasto, como pavimento continuo o en forma de parquet, aplacado en paredes o techos, juntas de dilatación, rellenos de cámaras, en bases de maquinaria para absorber las vibraciones y ruido, etc. etc. El corcho es un material muy modesto porque no es aislante a los sonidos transmitidos por el aire (debido a su baja densidad) pero tampoco es absorbente (debido a su especial característica de porosidad) el corcho es un material excelente como aislante a los sonidos transmitidos por vía sólida, debido a sus muy especiales características resilientes.

LINOLEUM. - El linoleum es un producto a base de aserrín de corcho, el cual es empleado en el recubrimiento de suelos, dándoles un aspecto suntuoso y acogedor, se fabrica en gruesos de 2 a 4 mm., conserva sus cualidades en todo su espesor, es resistente al desgaste, así mismo se fabrica un tipo de linoleum especial para el revestimiento de paredes. Es de colocación rápida y se adhiere mediante pegamento. Resumiendo el linoleum es impermeable y silencioso, lo que añadido a su belleza y confort le hacen destacar como un pavimento muy acreditado.

VIDRIO CELULAR. - Es un vidrio que contiene gran cantidad de celdillas microscópicas repletas de gas, se obtiene inyectando a presión anhídrido carbónico (CO_2) en el vidrio fundido en una proporción volumétrica del 70%. Se utiliza en plafones, en medidas de 30 x 30 cm. y 70 x 70 cm. con un espesor de 15 mm. y pesa 5 kg/m² entre sus propiedades se cuentan: ligereza, rígido, absorbente del sonido, para este fin se pueden emplear - - placas de vidrio celular perforadas.

FIBRA DE VIDRIO. - Es un material en forma de fibras, obtenidas del vidrio por diversos procedimientos, entre los principales están: -
1.- estirado del vidrio por centrifugación al caer sobre un disco giratorio - se obtiene la fibra llamada lana de vidrio. 2.- estirado mecánico del vidrio fundido por hileras de diferente diámetro y enrollamiento sobre tambores giratorios, se obtiene la fibra llamada seda de vidrio. En el aislamiento acústico de pisos contra ruidos de impacto, se usan tiras de láminas constituidas por fibras de vidrio especiales aglomeradas, el fieltro de vitrofibra se usa ampliamente para la fabricación de productos para aislamiento acústico,

o se emplea en la parte posterior de las losetas perforadas de plafón, también se emplea para la producción de los así llamados suelos insonoros, con capa de aire para impedir la transmisión de ruidos impulsivos, se tiene la precaución de asegurar que no haya "puente de sonido" a través del cual pueda trasladarse el ruido, es decir que el piso insonoro de capa de aire esté separado tanto de la parte inferior como de los lados de la armadura del edificio. En México una conocida firma comercial fabrica un plafón fabricado con vitrofibra denominado Vitrocor, el cual se coloca con suspensión visible, este material es inorgánico, incombustible, de gran belleza y de alta eficiencia acústica.

LANA DE ROCA O LANA MINERAL. - La lana de roca es un material fibroso hecho a partir de la diabasa mineral que es una roca ígnea muy dura, de composición bastante constante, el material se funde a una temperatura muy elevada en un horno de reverbero y luego se extrae por estirado en diminutas fibras delgadas mediante una máquina de hilar, la superficie de la lana mineral se trata con una mezcla de aceite y resina fenólica. Debido a su naturaleza inorgánica el material no puede ser atacado por insectos ni puede pudrirse, es resistente al fuego y puede cortarse y conformarse con facilidad. Las planchas de lana de roca son elásticas, su densidad varía de 0.072 kg/dm³ a 0.138 kg/dm³. La lana mineral se emplea en las siguientes formas:

a.- Como lana suelta empleada para sellar juntas, para disponer en el interior de las cámaras de techo y bajo el piso así como el muro con cámaras de aire, la lana mineral suelta tiene una densidad de 0.011 - -

kg/dm³.

b.- En forma del fieltro, cuando el material se produce en -
rollos de espesores entre 2.5 y 10 cm., la densidad varía entre 0.032 - - -
kg/dm³ y 0.063 kg/dm³, este material se utiliza principalmente en suelos,
con capas de aire, contra el sonido, para aislamiento de la cámara de techo
etc.

c.- Como Planchas, en las cuales la lana mineral se atiesa -
por impregnación con material plástico, tiene una densidad de 0.048 kg/dm³,
pueden colocarse entre los dos tabiques.

d.- Como Losetas, este material tiene varias ventajas como
son ligereza, incombustibilidad, además de ser muy estético, son de suma
utilidad para cubrir instalaciones de aire acondicionado, sanitarias, eléctricas,
etc., permiten controlar los dos aspectos básicos de la acústica de los
edificios: la absorción y la transmisión del sonido, logrando la comodidad y
privacía necesarios para el ser humano.

La instalación de plafones con estas losetas puede hacerse:

1.- Utilizando un buen adhesivo de contacto no endurecible ni
cristalizable (sólo se recomienda para los tamaños de 30.5 cm. x 30.5 cm.
y de 30.5 x 61.0 cm.).

2.- Utilizando sistemas metálicos de suspensión.

i.- Sistema de suspensión oculta. Retícula de elemen--
tos de lámina galv., cada loseta debe quedar soportada en sus cuatro lados.

ii.- Sistema de Suspensión Visible, Retícula de elemen--
tos de lámina esmaltada o de aluminio, también cada loseta debe quedar so

portada en sus cuatro lados. Tiene como limitantes no poder colocarse en alturas menores de 1.80 m. ni bajo condiciones continuas de humedad, se fabrican en medidas de 30.5 x 30.5 cm., 30.5 x 61.0 cm, 60.3 x 60.3 cm. y 61 x 61 cm. teniendo un peso de 7 kg/m² a 8.2 kg/m².

En México se fabrican en diversas texturas como son: Fisurado, Glaciar, Finesse y Decorado y presentan los siguientes coeficientes de absorción del sonido.

TIPO	ESPESOR cm.	MONTAJE	COEFICIENTES DE ABSORCION						NRC prom.
			125	250	500	1000	2000	4000	
Fisurado	1.9	A	.03	.27	.83	.99	.82	.71	.70-.80
		S	.67	.67	.65	.84	.87	.74	
Glaciar	2.2	A	.04	.20	.73	.99	.88	.89	.65-.75
		S	.60	.73	.73	.93	.88	.90	.75-.85
Finesse	1.9	S	.78	.57	.59	.74	.70	.60	.60-.70
Decorado	1.9	A	.03	.26	.77	.93	.83	.78	.65-.75
		S	.80	.69	.66	.86	.90	.87	.76-.85

PROPIEDADES DE ATENUACION DEL SONIDO.

TIPO	MONTAJE	ATENUACION DEL SONIDO (dB) (10 frecuencias)										
		125	250	350	500	700	1000	1400	2000	2800	4000	STC
Fisurado	SO	23	27	25	23	26	28	32	36	43	50	25-29
	A	30	36	38	41	46	48	52	59	58	60	35-49
	SV	24	30	23	21	24	25	25	25	30	42	25-29
Glaciar	SV	28	30	32	39	42	44	45	46	50	50	40-44
Finesse	SO	26	29	28	31	33	35	41	47	57	58	30-34
Decorado	SO	22	25	22	26	28	31	35	43	49	49	25-29

Abreviaturas: Montaje: A, por adhesivo. S suspensión metálica SO suspensión oculta SV suspensión visible.

NRC = Coeficiente de reducción de ruido promedio.

STC = Clasificación de transmisión de sonido.

Se observa que las frecuencias bajas hay una gran diferencia cuando el plafón es adherido que cuando es suspendido, cosa que no ocurre para frecuencias medias (1 000 Hz) que es cuando tienen mayor coeficiente de absorción.

PANELES DE YESO PARA MUROS DIVISORIOS Y PLAFONES.

Están compuestos por un núcleo de yeso cubierto por papel manila en su cara de acabado y un papel fuerte en su cara posterior, para formar un muro divisorio (este tipo de muros no funciona como muros de carga) se coloca un bastidor metálico ligero (de lámina galvanizada) cubierto en ambos lados con panel de yeso, el cual se fija a la estructura con tornillos. Dichos paneles vienen en espesores de 10, 13 y 16 mm., de 1.22 m de ancho por longitudes desde 2.40 m. Su densidad es desde 23 kg/m² para muros y de 10 Hg/m² para plafones. Proporciona un aislamiento acústico de un lado al otro del muro igual y superior al de un muro de tabique de 14 cm. aplanado por ambas caras, o de block hueco de concreto de 15 cm., los cuales tienen una pérdida de transmisión de 37 dB, para los paneles de yeso se obtiene el aislamiento necesario aumentando capas de paneles de yeso, cámara de aire intermedia y colocando aislamiento acústico dentro de la misma (lana mineral) hasta lograr 55 dB, por ejemplo con sólo un panel a cada lado tenemos una pérdida de transmisión de 42 Db, con 2 paneles de un lado y 1 del otro, tene

mos una pérdida de 44 dB y con un panel de cada lado pero con lana mineral en la cámara se tiene una pérdida de 49 dB. Recordemos algunos requerimientos típicos:

Aulas	42 dB
Oficinas	40 dB
Departamentos	59 dB
Hoteles	50 dB

Para que los muros proporcionen el aislamiento acústico indicado (STC) éstos deben ir sellados en sus juntas perimetrales con calafateo acrílico, el cual debe ser elástico no endurecible e impermeable, cuando estos muros se recubran con azulejo deben aplicarse con un adhesivo impermeable especial.

Los valores de pérdida de transmisión de sonido (STC) de este material son:

ENTRE	PESO Kg/m ²	ESPESOR mm	STC dB
Recámara y Recámara	26	53	34
	30	59	36
Recámara y baño	26	53	34
	30	59	36
Baño y Cocina	24	89.5	40
	25	118	42
	34	variable	
Cocina y Comedor	26	53	34
	30	59	36
Recámara y circulaciones	28	95.5	40
Apartamientos contiguos	29 ⁺	124 ⁺	49

(+) Con aislamiento acústico, colchoneta de lana mineral de 38 mm y 50 -- kg/m³.

En México hay varios fabricantes de este tipo de material, -- sus productos son conocidos en el mercado con nombres tales como Sheetrock y Tablaroca, etc.

CONCRETO CELULAR. - No es tan satisfactorio desde el -- punto de vista del aislamiento acústico como se cree, los experimentos han demostrado que una pared de 10 cm. de espesor construida de concreto celu lar con densidad de 0.6 kg/dm³ tiene una efectividad de aislamiento acústico de 42 dB a 45 dB, el cual es más baja que el de una obra de concreto denso, aunque tiene la ventaja de ser de mayor ligereza.

PLANCHAS DE LANA DE MADERA IMPREGNADAS. - Se ha-- cen comprimiendo fibras de madera en forma de planchas e impregnándolas bajo presión con cemento de yeso, son empleadas en la construcción de edifi cios con fines de aislamiento, en parte para techado, donde tienen una buena capacidad de sustentación, en parte para paredes de yeso, son ligeros y ais lantes.

AMIANTO ROCIADO. - El Amianto, mejor conocido como as besto, se usa para mejorar el aislamiento acústico en muchos tipos de edifi cios industriales, edificios públicos, etc. este material se compone de fibras de amianto tratadas especialmente, las cuales se hallan en suspensión en -- agua y se rocían por medio de una pistola de chorro múltiple en las superfi-- cies interiores de paredes, techos, etc. El material es homogéneo, se ad-- here instantáneamente a prácticamente cualquier tipo de material de cons--

trucción y permanece en estado plástico durante unas dos horas, en cuyo tiempo puede ser aplanado o modelado según se necesite. Después de 8 horas se convierte en una protección permanente. Este material tiene altas cualidades para la absorción del sonido, tiene los siguientes coeficientes de absorción:

ESPESOR	COEFICIENTES DE ABSORCION					
	125	250	500	1000	2000	4000
12 mm.	0.25	0.25	0.45	0.75	0.75	0.70
25 mm.	0.20	0.40	0.65	0.80	0.75	0.75

FIBRAS DE COCO.- Se obtienen de la parte exterior de los cocos y son particularmente recias y elásticas, se fabrican comunmente con espesores comprendidos entre 9 y 13 mm. teniendo una densidad de 0.1 a 0.2 kg/dm³. Se utiliza principalmente para el aislamiento debajo del pavimento, especialmente en la construcción de pisos flotantes, así como para el aislamiento interior de las paredes cuando sostiene el yeso del interior, en tal caso dicho material mejora notablemente el aislamiento acústico de las paredes delgadas.

VENTANAS DE CRISTALES MULTIPLES.- El grado de aislamiento acústico proporcionado por paredes macizas es bastante mayor que el que proporcionan las ventanas, un muro de tabique de 23 cm. tiene un valor de aislamiento de aproximadamente 50 dB para los sonidos transmitidos por el aire, mientras que el aislamiento de las ventanas de cristal sencillo es de 20 dB en las frecuencias más corrientes, si duplicamos el espesor del cristal

debería elevarse el aislamiento en 6 dB, se hicieron experimentos y se encontró que en las bandas de frecuencia de 100 a 3200 Hz y al doblar el espesor del cristal se mejoró el aislamiento en 4 a 5 dB, en el caso de los cristales múltiples la resistencia acústica depende de factores tales como el peso del cristal utilizado (lógicamente el peso va en función directa del espesor), de la distancia entre los cristales y en caso de unidades selladas herméticamente, de la naturaleza del gas encerrado dentro del espacio comprendido entre ellos. El aislamiento de una unidad de doble cristal no es constante para todas las frecuencias, sobre la escala media de sonido de 100 a 3200 Hz la resistencia puede variar de 20 dB hasta cerca de 45 dB y para un aislamiento eficaz cuando más baja sea la frecuencia más ancho tiene que ser el espacio de aire, por lo tanto es de gran importancia, por ejemplo una ventana de doble cristal con un espacio de aire de 20 cm. entre los cristales tiene un aislamiento acústico de 40 dB, con el mismo cristal (6 mm), pero el espacio de sólo 5 cm. la absorción desciende a 33 dB, usando un cristal de 12 mm (mismo volumen) tenemos una absorción de sonido de 33 dB exactamente la misma que la ventana de doble cristal con un espacio de aire de 5 cm., esto significa que los interespacios de aire inferiores a 5 cm. son virtualmente inútiles como aislamiento acústico. El óptimo teórico está entre 20 y 30 cm. Si en el espacio de aire se introduce algún aislante como el poliuretano expandido en tiras, este proporciona una mejora en la absorción aproximada de 3 dB, en el espacio de 5 cm. y de 5 dB en la que el espacio era de 20 cm. El triple cristal tiene poco efecto en el aislamiento acús-

tico, salvo el natural incremento debido al aumento de masa de cristal con dos interespacios de 10 cm. tiene aproximadamente la misma resistencia al sonido que el doble cristal con un interespacio de 20 cm. En México se fabrica una ventana de doble cristal, denominada Duovent, sólo que es más apreciada por sus propiedades térmicas que por las acústicas, dado que el espacio de aire es de sólo 12 mm y como se vió el mínimo recomendable es 50 mm.

MADERAS IMPREGNADAS CON MONOMEROS VINILICOS.

Las maderas tienen la ventaja como material acústico de ser parcialmente absorbentes y parcialmente reflejantes. Mediante diversos procesos químicos se incorporan monómeros vinilicos sintéticos produciendo el endurecimiento de maderas, estos materiales sobresalen de los materiales estructurales tradicionales por presentar una mayor dureza, resistencia a la compresión y a la tensión, baja densidad, porosidad, etc. En el objeto de estudiar la influencia de los coeficientes de absorción por la impregnación de plástico de la madera se obtuvieron los siguientes resultados experimentales:

MATERIAL	ESPESOR MM.	COEFICIENTES					
		125	250	500	1000	2000	4000
Acrilico placas	6	.17	.12	.03	.02	.06	.10
Poliestireno placas	4	.07	.32	.07	.05	.02	.01
Pino triplay	6	.41	.20	.06	.03	.03	.20
Caoba triplay	6	.38	.29	.03	.01	.03	.03
Pino acrilico	6	.22	.19	.09	.10	.01	.25

MATERIAL	ESPESOR MM.	COEFICIENTES					
		125	250	500	1000	2000	4000
Caoba acrilico	6	.15	.24	.12	.08	.03	.18
Pino poliestireno	6	.04	.16	.02	.08	.05	.17
Caoba Poliestireno	6	.04	.12	.03	.07	.03	.01

PANELES ACUSTICOS DE ACERO. - Se presentan en dimensiones de 30 x 30 y 30 x 60 cm. se han calculado para ofrecer el máximo número de ventajas para los revestimientos de grandes superficies. Se caracterizan por su rápida colocación, duración prácticamente ilimitada y máxima eficiencia acústica. Las placas están constituidas por una chapa de acero perforado de 4.5 mm de espesor, los bordes de fijación están chaflanados y forman después de la colocación juntas en V.

PANELES DE FIBRA DE MADERA. - Se haya constituido por un enlace de fibras de maderas impregnadas y adheridas con cemento bajo presión controlada, dando como resultado numerosos huecos a manera de celdillas que retienen el aire y consecuentemente adquiere muy notables cualidades de aislamiento acústico, se presenta en placas de 1 x 1 m con un espesor de 4 cm., su peso es del orden de 25 kg/m² la superficie de estos paneles resulta adecuada para recibir yesos y morteros, su principal aplicación son la formación de cubiertas y cielos rasos. De ensayos realizados se han obtenido los siguientes coeficientes de absorción:

125	250	500	1000	2000	4000
.21	.29	.86	.77	.77	.67

Coefficiente de reducción de ruidos = 68.9%.

PLASTICOS CELULARES.

Los plásticos celulares pueden subdividirse en aquellos en los cuales los poros de la estructura celular no están interconectados y aquellos en los que la estructura porosa es continua. Están siendo ampliamente utilizados en la industria de la construcción los siguientes plásticos celulares:

- a.- Cloruro de Polivinilo expandido (PVC)
- ✓ b.- Poliestireno expandido.- Para el aislamiento en paredes, plafones o bajo el pavimento.
- c.- Goma y ebonita expandida.
- d.- Espuma Fenólica.
- e.- Espuma de Poliuretano.- Una aplicación de este material es el rociado del aislamiento en muros y plafones.
- f.- Espuma de formaldehido de urea.

Los más usados en la construcción con fines acústicos son:

El Poliuretano Expandido que es usado para la absorción de sonido propagados por el viento, en forma de paneles tipo Sandwich a base de poliuretano inyectado, hay que considerar el sonido bajo dos facetas: transferencia y absorción, existe transferencia cuando los ruidos producidos por el exterior entran a través del panel. Como lo indica la palabra, la absorción consiste en recoger los ruidos producidos en el interior del local o estancia antes de producir el eco, en el panel Sandwich la junta de neopreno corta el puente de transmisión fónico entre las superficies de acabado,

con espesores de 4 cm. pueden conseguirse aislamiento fónico de más de 50 dB. Y en segundo término tenemos el Poliestireno Expandido, éste se usa en forma de losetas acústicas suspendidas.

PANELES DE ESPUMA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO. - Están formados por espuma rígida de poliestireno expandido que forma una estructura celular cerrada, para su aplicación se colocan en paredes sobre el yeso o sobre el tabique y después del panel se puede enyesar. En los suelos deben interponerse los paneles entre la losa y el pavimento, en este caso absorbe el impacto de golpes y ruidos, su colocación es muy sencilla y sobre dichos paneles puede colocarse mosaico, mármol, etc. sin miedo a que se comprima, con la misma facilidad pueden aplicarse en cubiertas y techos.

PLACAS DECORATIVAS DE POLIESTIRENO. - Aparte de solucionar el problema de absorción del sonido, estas placas resultan altamente decorativas, dando un aspecto agradable al ambiente, tienen aplicación en cines, cafeterías, tiendas, locales públicos, así como en viviendas, colegios, despachos, oficinas, etc. sus medidas son de 50 x 50 cm. con 15 mm de espesor y vienen en blanco o en varios colores, su peso oscila alrededor de 225 gr. por metro cuadrado.

ESPUMA PLÁSTICA AISLANTE. - Es una resina de úrea formaldehído de endurecimiento en frío también conocida como espuma aislante o nieve plástica, tiene la ventaja de ser fabricada en la misma obra con un aparato especial inyectándolo en el lugar donde tiene que ir colocado, tiene aplicación en el relleno de la cámara de aire dejada expresamente entre dos tabiques, la espuma plástica está formada por una serie de celdas poliédri-

cas comunicadas entre sí, por dicha razón presenta una superficie grande a las ondas sonoras teniendo por tanto un buen coeficiente de absorción acústica, las ondas sonoras al penetrar en su interior quedan absorbidas en buena parte transformándose en calor, presenta los siguientes coeficientes de absorción:

ESPESOR DE LA CAPA MM.	COEFICIENTES DE ABSORCION					
	125	250	500	1000	2000	4000
30	.09	.23	.58	.70	.89	.78
40	.10	.34	.78	.93	.93	.86
50	.12	.44	.83	.92	.95	.92

PLAFONES DE FIBRAS VEGETALES. - Se fabrican en láminas de 1.22 x 2.44 m. en espesores de 10 y 13 mm. pueden utilizarse como muros divisorios, se utilizan panales con cámaras de aire o como cielo raso, especialmente en fábricas, talleres, donde absorbe el ruido de maquinaria y equipos de producción, su suspensión es oculta, en México es conocido comercialmente como Eucatex, y muestra los siguientes coeficientes de absorción fónica:

FRECUENCIA Hz					
125	250	500	1000	2000	
.18	.19	0.63	0.80	0.77	

Estas pruebas se realizaron en plafones de 30.5 x 30.5 cm. por 12.7 mm de grueso, peso específico 3.5 kg/m².

CAPITULO V

ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO Y CONCLUSIONES

GENERALIDADES.

ENERGIA REFLEJADA POR LA PARED.

MATERIALES ABSORBENTES.

BASES DEL ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO.

DISMINUCION DE LA INTENSIDAD ACUSTICA

POR LA ABSORCION.

CAMPO DIRECTO Y CAMPO REVERBERADO.

DETERMINACION DEL TRATAMIENTO ABSORBENTE.

FORMA DE LOS LOCALES.

EJEMPLO DE CALCULO DE ACONDICIONAMIENTO

ACUSTICO DE UNA SALA DE CINE.

CONCLUSIONES.

CAPITULO V

ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO Y CONCLUSIONES

GENERALIDADES

En este capítulo supondremos que los problemas de aislamiento contra los ruidos aéreos, ruidos de impacto y las vibraciones que vienen del exterior del local están resueltos. Nos concentraremos sobre el ambiente sonoro interior, hacer un Acondicionamiento Acústico o Corrección Acústica de una sala consiste en dosificar la intensidad de los fenómenos sonoros percibidos por los ocupantes y adaptarlos según la finalidad del local.

ENERGIA REFLEJADA POR LA PARED

Cuando las ondas sonoras encuentran una pared, no pueden continuar y vuelven sobre sí mismas, otra parte es transmitida por la pared hacia la habitación continua y otra pequeña es absorbida por el material que constituye la pared, la parte que refleja es similar a una pelota que choca -

contra un muro, si el muro es liso, pesado y rígido, la pelota rebota fácilmente, pero si está revestido de un material esponjoso, la pelota rebota mal, esto sucede al igual con las ondas sonoras: si los muros están cubiertos con azulejo, mármol, etc. las ondas reflejan bien, pero si están cubiertos por cortinas o colgaduras, el sonido reflejado es pequeño, aumenta la energía absorbida, disminuye la energía reflejada, es necesario señalar que la parte de energía transmitida por las paredes del local hacia los locales contiguos prácticamente no cambia, y no es tapizando los muros con un material absorbente como se disminuye la molestia en locales contiguos, esto es contrario a lo que piensa mucha gente, en este último caso una parte de la energía sonora incidente es absorbida por el revestimiento mural, esta absorción disminuye la cantidad de energía reflejada, cuando la fuente está en un local cerrado, el nivel sonoro que se establece es debido a la yuxtaposición del sonido directamente emitido por la fuente y de los sonidos reflejados por las paredes, o sea que depende de la energía reflejada por las paredes y por ende de su absorción acústica.

Cuando las paredes de un local son muy reflexivas tal como una habitación desnuda en que las paredes duras están cubiertas por pinturas se dice que es muy sonora o muy "reverberante", mientras que una habitación cubierta de cortinas o colgaduras y con muchos muebles parece "sorda", como si la fuente estuviera al aire libre, tan incomodo es vivir en una cámara "reverberante" como en una "sorda", es necesario pues dosificar la parte de energía reflejada por las paredes, cubriéndolas más o menos con materiales absorbentes con objeto de mantener un ambiente sonoro agra-

dable en la habitación.

Es fácilmente comprobable que tan pronto cesa la emisión de un ruido en una sala cerrada con paredes duras y lisas, subsiste un momento una cola sonora, esta cola es larga si el volumen es grande y las paredes son paralelas dos a dos, se dice que existe una importante duración de la reverberación, este fenómeno es debido a la reflexión de las ondas sonoras sobre las paredes del local, para los cálculos, la duración de la reverberación -ver Cap. IV- es el tiempo que corresponde a un decrecimiento de 60 dB del nivel de intensidad acústica, prácticamente la duración es más corta si el nivel de ruido de fondo es bastante fuerte.

Cuando el ruido se mantiene en una habitación de larga duración de reverberación, la energía sonora emitida por la fuente y la energía reflejada por las paredes se mezclan, o sea que los sonidos incidentes pueden ser cubiertos por los sonidos reflejados, todo lo cual origina una conversación ininteligible y por otra parte el nivel sonoro en la habitación aumenta; el nivel sonoro en una sala reverberante es mucho más fuerte que si la fuente del ruido estuviera al aire libre, por el contrario un orador debe esforzarse para hacerse oír si habla al aire libre o en una sala sorda, es por lo tanto necesario buscar la duración óptima de la reverberación de un local y elegir los materiales que hay que aplicar sobre las paredes para obtenerla -ver Cap. IV-. En este inciso sólo estudiaremos más a fondo los materiales absorbentes que son los que interesan en este capítulo.

MATERIALES ABSORBENTES.

Se pueden clasificar en tres categorías:

- a.- Materiales Porosos
- b.- Materiales Reflexivos (membranas)
- c.- Resonadores

En todos los casos una parte de la energía sonora que incide - sobre el material se transforma en calor y se restituye el resto.

- a.- Materiales fibrosos y Materiales con poros abiertos.

Presentan pequeñas cámaras de aire o poros que se comunican entre sí, las ondas sonoras penetran fácilmente, el aire contenido en el material es puesto en movimiento y una parte de la energía acústica se transforma en calor por el frotamiento del aire sobre las partes sólidas. La absorción de estos materiales es más alta para las frecuencias agudas que para las graves, para las frecuencias agudas la absorción es prácticamente independiente del espesor del material y para las frecuencias bajas la absorción aumenta cuando se aumenta el espesor.

- b.- Tableros Reflexivos (membranas)

Están compuestos por un tablero de contrachapado el cual es clavado o encolado sobre un bastidor de madera a una determinada distancia del muro, cuando las ondas sonoras chocan sobre el tablero lo ponen en vibración, si la frecuencia de las ondas sonoras coincide con la frecuencia propia de vibración del tablero se produce resonancia, una parte de la energía sonora se transforma en energía mecánica y finalmente en calor. Para calcular la frecuencia f_{am} para la que la membrana tiene un coeficiente de absorción máximo se utiliza la fórmula:

$$f_{am} = \frac{600}{\sqrt{md}}$$

m = masa del tablero en kg/m²

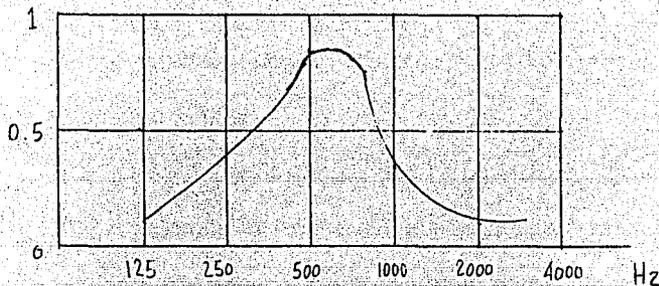
d = espesor de la capa de aire situada atrás del tablero
(cm).

La absorción de un panel reflexivo es eficaz sobre todo cuando existe resonancia.

Los tableros reflexivos o los diafragmas absorben las frecuencias graves.

c.- Resonadores.

Todos sabemos que soplando en el cuello de una botella ésta emite un sonido, haciendo una analogía mecánica de este fenómeno, el aire contenido en el cuello del resonador (la botella es un resonador) fuera una masa y el volumen de aire de la cavidad un resorte, si soplamos en el cuello, la masa de aire es desplazada y comprime el resorte que se expande a continuación impulsando la masa, se crea una vibración que origina el sonido; una parte de la energía sonora transformada en energía mecánica se pierde en forma de calor, debido al frotamiento de aire sobre las paredes del cuello, existiendo absorción, los resonadores son muy selectivos, tienen una gráfica absorción-frecuencia como la siguiente:



Se observa que su absorción es mayor para las frecuencias medias 500-1250 Hz, si se quiere aumentar la absorción se coloca en el resonador un material poroso.

Resonadores Grupados.- Una placa perforada situada a determinada distancia de una pared actúa como una serie de resonadores -- Placas de Acero cap. IV- las perforaciones no necesariamente deben ser -- circulares, aún con pequeñas hendiduras actúa en la misma forma, si una -- placa tiene perforaciones de diferente tamaño y forma, la absorción no es -- más selectiva por las diferentes frecuencias de resonancia que corresponden a los diferentes diámetros de los orificios son diferentes.

Resumiendo los tres procesos principales de absorción y sus aplicaciones más apropiadas son:

Las fibras para las frecuencias agudas

Las membranas para las frecuencias graves

Los resonadores para las frecuencias medias.

Además es importante señalar que estos tipos se pueden combinar.

BASES DEL ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO

El Acondicionamiento Acústico de una sala permite resolver principalmente dos problemas:

1. - Obtener un ambiente sonoro agradable, ajustando la duración de la reverberación de la sala a su utilización.
2. - Bajar el nivel sonoro debido a fuentes de ruido muy molestas.

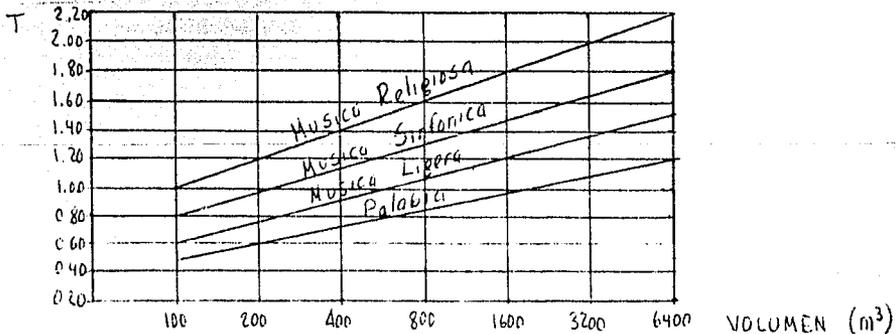
DATOS DE BASE

Para hacer un estudio de acondicionamiento acústico de una sala hay que tomar en cuenta cuatro factores:

- I. - Destino de la Sala
- II. - Volumen de la Sala
- III. - Superficie y naturaleza de los muros
- IV. - Tipo de mobiliario y número de ocupantes.

DESTINO Y VOLUMEN DE LA SALA

Estos dos datos se utilizan para determinar la duración de la reverberación que hay que dar a un local, ya que debe variar según el uso que vaya a tener, en la siguiente figura se muestran los valores de duración óptima de la reverberación en función del volumen y destino de los locales.



Así mismo se recomiendan estos valores para los siguientes locales:

Oficinas pequeñas	0.50 a 0.75 seg.
Aulas y Auditorios	0.75 a 1.00 seg.
Salas de trabajo	1.00 a 2.00 seg.

SUPERFICIE Y NATURALEZA DE LAS PAREDES

Estos datos determinan los lugares que es posible recubrir con materiales absorbentes y dan los elementos necesarios para evaluar la superficie de absorción equivalente A_0 del local vacío antes del tratamiento. A_0 se liga al tiempo de reverberación T_0 por la fórmula de Sabine:

$$T_0 = \frac{0.161 V}{A_0}$$

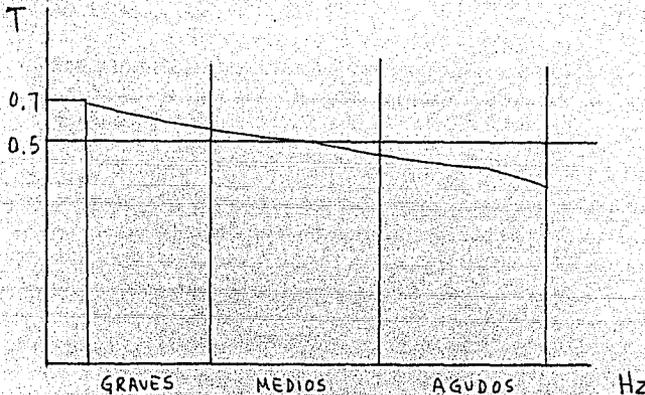
Los datos anteriores permiten conocer el tiempo de reverberación T_0 antes del tratamiento y el tiempo óptimo de reverberación T que hay que obtener. Se puede deducir la superficie de absorción equivalente de la sala antes y después del tratamiento. La diferencia de estas superficies da la superficie de absorción equivalente del conjunto de los materiales que hay que utilizar.

$$A = \frac{0.16 V}{T} \quad A_0 = \frac{0.16 V}{T_0} \quad A - A_0 = S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + \dots$$

Donde V = volumen de la sala

S_1 = superficie de un material absorbente de coeficiente de absorción α_1

El tiempo de reverberación óptimo deberá elegirse en función de la frecuencia.



La superficie disponible para la colocación de los materiales permite determinar el valor del absorbente. Es evidente que si la superficie es pequeña, es necesario escoger un material con un coeficiente de absorción alto, por el contrario si se dispone de mucha área se debe escoger un material más modesto, los absorbentes son menos eficaces cuando están agrupados y la sala es voluminosa.

Situación de los materiales. - Ya que se ha determinado la naturaleza y la superficie de los materiales absorbentes se debe estudiar su situación dentro de la sala.

Sea por ejemplo una sala paralelepédica, compuesta con 3 pares de paredes paralelas, no tratadas un par de ellas cuando se emite un ruido, las ondas sonoras se reflejan sobre estas dos paredes, aún revistiendo las otras paredes persistirá el efecto desagradable debido a las múltiples reflexiones sobre el par de paredes no tratadas.

Por tanto hay que evitar mantener dos paredes lisas paralelas, para eliminar el problema es suficiente tratar una de ellas, si consideramos el local completo es suficiente tratar tres caras adyacentes.

Examinemos ahora el caso de una sala de conferencias:

Cuando el orador habla, las ondas sonoras viajan en todas direcciones y principalmente hacia el fondo de la sala, una onda sonora tarda el mismo tiempo en recorrer del orador al fondo que del fondo al orador, si la sala tiene más de 10 metros de larga habrá un eco claro que es desagradable para el conferenciante y los primeros oyentes, además que es ininteligible la audición. Si las paredes laterales son paralelas, hay que tratar una y será la que no tenga ventanas.

Ahora veamos el caso de las paredes horizontales:

Por lo general el techo no se trata, ya que los espectadores son muy absorbentes, además si el techo es reflejante, ayudará a reforzar el sonido que alcanza al fondo de la sala, si se prevee una baja asistencia será necesario dotar la sala de asientos absorbentes, la zona crítica sería entre el orador y el público, esta zona se puede tratar con alfombra o con un techo inclinado o suspendido.

TIPO DE MOBILIARIO Y NUMERO DE OCUPANTES

Sabemos que todos los materiales absorben más o menos la energía sonora, una sala por ejemplo se estudia en función de una actividad, pero es necesario prever los muebles, revestimientos del pavimento, acabados de los muros y plafones y pensar que la sala estará ocupada, como se vio en el Cap. IV las personas y los muebles tienen un determinado coefi-

ciente de absorción que no hay que olvidar al estudiar el acondicionamiento acústico de la sala.

DISMINUCION DE LA INTENSIDAD ACUSTICA POR LA ABSORCION

Como se vió anteriormente, el acondicionamiento acústico resuelve también en segundo lugar y en forma parcial el problema de bajar el nivel sonoro debido a fuentes de ruido molestas.

Podemos usar materiales absorbentes para reducir el nivel sonoro en una sala, pero no se puede contar con este tratamiento para mejorar el problema de aislamiento acústico, sólo permite hacer más agradable el ambiente del local.

Siempre y cuando la fuente no se encuentre muy cerca, por absorción se elimina parcialmente la energía sonora que sería reflejada por las paredes del local, esto es porque cerca de la fuente, el nivel sonoro disminuye en función de la distancia cuando se está lejos se percibe que el nivel sonoro es prácticamente constante en cualquier lugar o sea que está fuera de la zona de campo directo de la fuente, en el aire libre no existe esta zona, el nivel sonoro disminuye en función de la distancia, donde disminuye 6 dB cada vez que se dobla la distancia con relación a la fuente.

CAMPO DIRECTO Y CAMPO REVERBERADO.- Se llama campo directo a la zona situada alrededor de la fuente en la cual se comprueba un decaimiento del nivel sonoro a medida que se aleja de la fuente. Campo Reverberado es la zona donde la disminución de la intensidad debida a la emisión directa es compensada por la energía reflejada por las paredes.

En una sala el nivel sonoro disminuye en función de la distancia, cuando la energía llega a las paredes, hay una reflexión importante en mayor o menor grado según sea el coeficiente de absorción de los revestimientos a determinada distancia de la fuente. Cuando se incorporan materiales absorbentes en un local, no existen cambios en el campo directo, sólo hay reducción de ruidos en el campo reverberado, esta reducción aumenta con la relación A/A° donde A es la superficie de absorción equivalente después del tratamiento y A° antes del tratamiento, la ley de reducción es una ley logarítmica como casi todas las de acústica.

DETERMINACION DEL TRATAMIENTO ABSORBENTE. Primero hay que conocer los ruidos que hay que absorber, se hace por ejemplo en el caso de una sala de máquinas el análisis del ruido de las máquinas, para conocer su frecuencia: baja, media o aguda. Este análisis permite elegir los materiales absorbentes: membranas para las frecuencias graves, perforados para las frecuencias medias y fibras para las frecuencias agudas.

Su situación como se vió -tres paredes adyacentes-, pero si la emisión se realiza en una dirección privilegiada, los absorbentes se colocarán sobre la pared situada enfrente a esta dirección, el tratamiento permite disminuir los sonidos reflejados pero los operadores están expuestos al campo directo emitido por las máquinas, por tanto hay que colocar pantallas entre las máquinas y el operador, revistiendo la pantalla con absorbente por el lado de la máquina.

En el caso de una sala de mecanografía se pueden levantar - muretes a media altura revestidas de un absorbente y tratar el techo.

En un restorán el ambiente debe ser muy sordo para que no - sean molestados los comensales con conversaciones de otras personas y ruidos de las vajillas y cubiertos, aquí los absorbentes deben ser eficaces en - las frecuencias medias y agudas, deben repartirse en todos los muros.

FORMA DE LOS LOCALES.- Dado que las ondas sonoras se comportan como los rayos luminosos, se puede estudiar la forma de las pa- redes para repartir equitativamente la energía sonora se vió que en el ca- so de dos paredes paralelas es necesario tratar una, si dos muros uno fren- te al otro no son paralelos el tratamiento es fácil, se puede ajustar la dura- ción de la reverberación, repartiendo armoniosamente los absorbentes, el paralelismo se puede evitar colocando sobre las paredes elementos en for- ma de dientes de sierra.

En el caso de superficies cóncavas se requiere de un estudio especial ya que según la posición de la fuente, las ondas sonoras pueden ser reflejadas y concentradas en una zona muy pequeña -focalización de ondas - sonoras- este reparto es perjudicial para la buena acústica, la solución es tratar la cúpula, problema que se agrava cuando es translúcida porque el - - tratamiento eliminaría sus funciones de iluminación, este problema de foca- lización se presenta también en salas semiesféricas y similares y recorde- mos que el tratamiento del suelo con una alfombra o un auditorio no cambia el defecto de focalización entonces hay que hacer un tratamiento a esta pa- red.

EJEMPLO DE CALCULO DE ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO DE UNA -- SALA DE CINE.

Sea una sala rectangular con un anfiteatro de 13 m. de vuelo por 1.7 m. de alto.

Dimensiones:	Longitud 31 m.	Volumen total	5456 m ³
	Ancho 16 m.	Volumen neto	5102 m ³
	Altura 11 m.	(descontando el vuelo del anfiteatro)	

Partes componentes del local

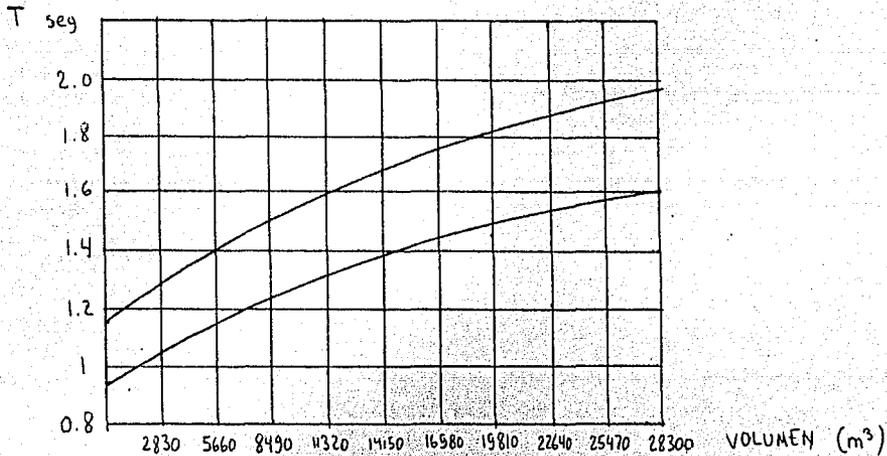
Techo sala y techo bajo anfiteatro	Pasta de mármol
Paredes laterales y fondo	Yeso
Suelo patio butacas y anfiteatro	Parquet de madera
Pasillos	Alfombras
Puertas	Cortinas
Butacas (1000)	Madera sin tapizar
Espectadores (60% de asistencia media)	600

Tiempo de reverberación correcto

Para la frecuencia media de 512 Hz y para el volumen neto indicado el tiempo de reverberación correcto debe estar comprendido entre --
1.17 seg. y 1.38 seg. según el diagrama de Sabine, tomamos el valor me--
dio $t = 1.27$ seg.

A continuación presentamos el diagrama de Sabine el cual da

el tiempo de reverberación correcto para locales en función de su volumen, nótese que este diagrama no es en función del tipo de espectáculo que se presente, ya sea palabra, música religiosa, coral, etc.



Estudio de la sala sin corrección acústica

Según Sabine:

$$t = \frac{0.161 V}{S}$$

siendo:

t = tiempo de reverberación de la sala en segundos

V = volumen neto de la sala, en metros cúbicos

$S = A$ = Area de absorción equivalente = suma de los productos parciales de las superficies componentes por sus coeficientes de absorción, correspondientes para la frecuencia media de 512 Hz.

El siguiente cuadro da el valor de absorción de las partes - - componentes:

Partes componentes	Naturaleza	Superficie m ²	Coefficiente de absorc.	Unidades Abs. U.A.
Techo sala y bajo del anfiteatro	Pasta	704	0.02	14.08
Suelo	Parquet ma dera	620	0.06	37.20
Pared fondo y laterales	Yeso	800	0.02	16.00
Pasillos	Alfombras	140	0.17	23.80
Puertas	Cortinas	30	0.49	14.70
60% de localidades	Espectadores	600	0.40	240.00
40% de butacas	Madera sin tapizar	400	0.026	10.40

TOTAL 356.18

El tiempo de reverberación resultante aplicando la fórmula de Sabine es:

$$t = \frac{0.161 \times 5102}{356.18} = 2.30 \text{ seg.}$$

tiempo muy superior al tiempo medio correcto que hemos tomado en - - - -

$t = 1.27$ seg. que vimos en el diagrama de Sabine.

Estudio de la corrección a efectuar en la sala

Siendo el tiempo de reverberación correcto igual a 1.27 seg. para la frecuencia de 512 Hz tendremos:

$$1.27 = \frac{0.161 \times 5102}{\text{u.a. necesarias.}}$$

de cuya igualdad se deduce:

$$\text{u.a. necesarias} = \frac{0.161 \times 5102}{1.27} = 646 \text{ u.a.}$$

Como se vió la sala proporciona sólo 356.18 u.a. faltan por -
tanto de introducir:

$$646 - 356.18 = 289.82 \text{ u.a.}$$

Adoptando para este acondicionamiento acústico fibra de vidrio
de 50 mm. de espesor, cuyo coeficiente de absorción es 0.78, la superficie
que se necesitará revestir será:

$$S = \frac{289.82}{0.78} = 371 \text{ m}^2$$

Si adoptamos corcho aglomerado de 50 mm de espesor cuyo -
coeficiente de absorción es 0.28 para la frecuencia de 512 Hz, la superficie
precisa para revestir será:

$$S = \frac{289.82}{0.29} = 1035 \text{ m}^2$$

Cuando se hace un estudio económico de la corrección acústi-
ca de un determinado local debe considerarse siempre el coeficiente de ab--
sorción del material de revestimiento, pero nunca, como es fácil suponer, -
el aspecto del precio por metro cuadrado.

EJEMPLO No. 2

Una aula de clases tiene las siguientes dimensiones:

Largo 10 m.

Ancho 6 m.

Altura 4 m.

y tiene un tiempo de reverberación $T = 1.5$ seg.

CALCULAR

- Absorción total del sonido del salón.
- Si se encuentran en el aula 40 estudiantes, cada uno de 0.5 sabinios métricos. Determinar el nuevo tiempo de reverberación del salón de clases.
- Si un conferencista habla con una potencia acústica de salida de 10 microvatios, determinar el nivel de presión del sonido con estudiantes y sin ellos.

RESPUESTAS

a. - Usando la fórmula de Sabine $A = \frac{0.161 V}{T} = \frac{0.161 (10 \times 6 \times 4)}{1.5}$

$$A = 25.76 \text{ sabinios métricos.}$$

b. - $T = \frac{0.161 V}{A} = \frac{0.161 (240)}{25.76 + 40 (0.5)} = 0.844 \text{ seg.}$

c. - Usando la fórmula $p = \sqrt{4 W \rho c/a}$

donde:

$$p = \text{presión en nt/m}^2$$

W = potencia en vatios

ρ = densidad del aire en kg/m³

c = velocidad del sonido en el aire en m/seg.

a = absorción total en sabinos métricos

Primer caso: Con estudiantes:

$$p = \sqrt{4 \times 10^{-5} \cdot 1.293 \cdot 343 / 45.76} = 0.0196 \text{ nt/m}^2$$

El nivel de presión del sonido es:

$$\text{NPS} = 20 \log \frac{0.0196}{2 \times 10^{-5}} = 59.82 \text{ dB}$$

Segundo caso: Sin estudiantes:

$$p = \sqrt{4 \times 10^{-5} \cdot 1.293 \cdot 343 / 25.76} = 0.0262 \text{ nt/m}^2$$

por tanto:

$$\text{NPS} = 20 \log \frac{0.0262}{2 \times 10^{-5}} = 62.34 \text{ dB.}$$

CONCLUSIONES

Para resolver los problemas de Aislamiento y Acondicionamiento Acústico de los Edificios hay que tomar las precauciones en el momento de proyectarlos y no una vez que estén terminados los inmuebles.

La acertada disposición de los planos es la primera condición para que la protección contra el ruido sea económica.

El Aislamiento Acústico es la solución esencial para la protección contra los ruidos aéreos y es tanto mejor -el aislamiento- cuanto más pesado es el material (Ley de las Masas), las ventanas y las puertas son la parte débil desde el punto de vista de aislamiento acústico por lo que hay que hacer hincapié en que estén bien sellados, sin descuidar el problema de estancamiento de aire dentro del local.

Aumentar el espesor de un suelo no tiene prácticamente influencia sobre la transmisión de los Impactos; sólo el revestimiento del suelo que

sea de tipo tapiz, o losa flotante, permite aislarlos. Si se utilizan falsos -- plafones para resolver los problemas de ruidos de impacto, éstos no deben ser porosos.

Para asegurar la eficacia de una losa flotante ésta no deberá tener ninguna ligazón rígida con la estructura del edificio.

No es aconsejable prever losas flotantes en el caso de que - el suelo tenga una forma muy irregular o esté atravesado por tuberías o ductos.

En los recubrimientos textiles del suelo hay que verificar que no se aplaste bajo el impacto ya que su comportamiento es muy diferente y - se eficacia su reduce sensiblemente.

Los ruidos en los muebles sanitarios no se pueden evitar en - la habitación en que se encuentran, pero se puede evitar su transmisión a -- los locales próximos.

En el caso de Acondicionamiento Acústico, los locales deben presentar características acústicas apropiadas, para locales pequeños -de - unos cuantos cientos de metros cúbicos- estas características se reducen a pocas cosas: un tiempo de reverberación comprendido entre ciertos límites, por lo que se refiere a los grandes locales, la forma de la sala tiene gran -- importancia.

ANEXO A

PUNTOS SOBRESALIENTES DEL REGLAMENTO PARA LA --
PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL ORIGINA --
DA POR LA EMISIÓN DE RUIDOS.

Art. 5 El Ejecutivo Federal dictará o promoverá ante el Congreso --
de la Unión, las medidas fiscales convenientes para procurar --
la descentralización industrial con objeto de reducir la conta-
minación ambiental por ruidos y facilitar a las industrias esta --
blecidas y que se establezcan en el futuro, la fabricación e --
instalación de equipos y aditamentos que tengan por objeto --
evitar, controlar o abatir la contaminación provocada por emi --
sión de ruidos.

Art. 13 Los dispositivos, aparatos electro-mecánicos o maquinarias --
de uso doméstico, comercial y agropecuario que en su funcio --
namiento emitan ruidos que causen daños a la salud deberán --
llevar una señal que así lo indique.

- Art. 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 seis y las veintidos horas del día y de 65 dB (A) entre las veintidos y las seis horas. Estos serán los valores medios medidos en forma continua o semi continua durante un lapso no menor de 15 minutos, en el perímetro del predio utilizando un decibelímetro normalizado, calibrado y en integración lenta, autorizado por la Secretaría de Comercio.
- Art. 18 Los locales o áreas de trabajo, dentro de los recintos de industrias y talleres, se ubicarán o construirán de manera que los ruidos que se produzcan no trasciendan a los predios colindantes o a la vía pública, rebasando los niveles máximos permitidos conforme a este reglamento.
- Art. 20 En las fuentes fijas se podrán usar silbatos, campanas, etc., para advertir peligro en situaciones de emergencia, aún cuando se rebasen los niveles permitidos, durante el tiempo y con la intensidad estrictamente necesarios para la advertencia.
- Art. 27 Queda prohibido sobrevolar aeronaves de hélice a una altura inferior a 300 m. y de turbina a una altura inferior a 500 m. excepto en operaciones de despegue, aproximación, búsqueda, rescate o situaciones de emergencia.

Art. 32 Para efectos de prevenir y controlar la contaminación ambiental por ruidos emitidos por las fuentes móviles se establecen como niveles máximos permitidos expresados en dB (A) los siguientes:

Año Modelo	Nivel Máximo Permitido dB (A) Peso Bruto Vehicular			
	Hasta 2 727 Kg.	2 727 - 3 500 Kg.	3 500 - 11 000	Más de 11 000 Kg.
anterior a 1977	86	88	91	98
1977 y 1978	83	85	88	95
1979 y en adelante.	80	83	85	91

Estos valores serán medidos a 15 m. de distancia de la fuente y en integración rápida.

Para las motocicletas se aplicará la siguiente:

Año Modelo	Nivel Máximo Permitido dB (A)
Anterior a 1968	93
1968 a 1975	92
1976 a 1978	89
1979 y en adelante	84

Estos valores serán medidos a 7.5 m. y en integración rápida.

Art. 34 Es de interés público la construcción de estaciones terminales de autotransporte que se ubicaran de acuerdo con normas urbanísticas así como la construcción de libramientos que evi

ten que los vehículos que usan las carreteras atraviesen las ciudades.

Art. 40 La S.S.A. promoverá la elaboración de nuevas normas oficiales que contemplan en las nuevas construcciones los aspectos básicos de la contaminación ambiental por ruidos.

Art. 77 Se consideran como fuentes artificiales de contaminación ambiental por ruidos las siguientes:

Fijas.- Que comprenden fábricas, talleres, comercios, refineras, etc.

Móviles.- Que comprenden: aviones, barcos, ferrocarriles, automóviles, camiones, motocicletas, etc.

BIBLIOGRAFIA

1.- Acoustone

Yeso Panamericano, México, D. F.

Literatura para especialistas.

2.- Burk Werner

Manual de Medidas Acústicas para el Control del Ruido

Editorial Blume

Barcelona, 1969.

3.- Cadiergues Roger

Aislamiento y Protección de las Construcciones

Editorial Gustavo Gili, S. A.

Barcelona, 1959.

4.- Diamant R.M.E.

Aislamiento Térmico y Acústico de Edificios.

Editorial Blume

Madrid, 1967

5.- Groenewold Federico

La Contaminación Ambiental por Ruido I

Revista Construcción Mexicana

México, D. F., febrero 1976

6.- Groenewold Federico

La Contaminación Ambiental por Ruido II

Revista Construcción Mexicana

México, D. F., mayo 1976.

7.- Josse Roberto

La Acústica en la Construcción

Editorial Gustavo Gili, S. A.

Barcelona, 1975.

8.- Ley Federal para prevenir y controlar la Contaminación Ambiental.

9.- Meisser Mathias

Acústica de los Edificios

Barcelona, 1973 Editores Técnicos Asociados, S. A.

10.- Norma Oficial D.G.N.C. 94-75

Clasificación de los Materiales Acústicos.

México, D. F.

11.- Payá Manuel

Aislamiento Térmico y Acústico

Ediciones CEAC

Barcelona 1974

12.- Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental
originada por la emisión de ruido.

13.- Resnick - Halliday

Física

Cía. Editorial Continental, S. A.

México, D. F., 1971.

14.- Seto William

Acústica

Libros Mc Graw-Hill

Cali, 1973.

15.- Sheetrock

Yeso Panamericano, S. A.

Literatura para especialistas

México, D. F.

16.- Valadez Cuenca Eduardo

Obtención de Materiales Acústicos Especiales a partir de Impregnación de madera con monómeros vinílicos.

Tesis Profesional, Fac, Química, U.N.A.M.

México, D. F., 1974.

17. - White Harvey

Física Moderna

Ed. Montaner y Simon

Barcelona, 1965.