



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales
"ARAGON"

La Aplicación de la Ingeniería
Civil en el Control de
Ruido Industrial.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

José Guadalupe Perrusquia Herrera

MEXICO, D. F.

1983



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.

C9v 112

Sist 29493





Escuela Nacional
de Estudios Profesionales

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON
DIRECCION

JOSE GPE. PERRUSQUIA HERRERA
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 6 de julio del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. LUIS LORENZO JIMENEZ GARCIA pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado "LA APLICACION DE LA INGENIERIA CIVIL EN EL CONTROL DE RUIDO INDUSTRIAL ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para reiterar a us ted las bondades de mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., julio 20 de 1981.
EL DIRECTOR

LIC. SERGIO ROSAS ROMERO

c.c.p. Coordinación de Ingeniería.
Unidad Académica.
Departamento de Servicios Escolares.
Director de Tesis.

A mis padres:

Paula y Jerónimo.

Por su amor y su ayuda en mi formación profesional.

A mis hermanos y familiares.

A mis maestros y amigos.

RECONOCIMIENTO Y DEDICATORIA .

Mi Asesor, Ing. Luis Lorenzo Jimenez, Especialista en la Solución de Problemas Originados por la Emisión de Energía Contaminante y Ruido, dedicó tanto tiempo, pensamiento y esfuerzo a la preparación y redacción de este trabajo que, con toda justicia, su nombre debiera aparecer junto al mío como Coautor.

Ambos esperamos que este trabajo proporcionará una solución adecuada para todas aquellas personas interesadas en la solución de problemas originados por la Emisión de Ruido. Así mismo damos las gracias a las numerosas personas que, de alguna manera ó de otra , nos proporcionaron su valiosa colaboración para la realización del presente trabajo.

Juntos, te dedicamos este libro a tí, lector, y a cualquier utilidad que puedas sacar de él. Fue escrito para ti.

José Gpe. Perrusquía

INDICE.

Artículo.	Página.
1. INTRODUCCION, - - - - -	1
2. PRINCIPIOS BASICOS DE ACUSTICA, - - - - -	4
2.1 Concepto de sonido, - - - - -	4
2.2 Niveles acústicos, - - - - -	9
2.3 Réverberación, - - - - -	11
2.4 Transmisión del sonido, - - - - -	18
3. ELEMENTOS DE METROLOGIA ACUSTICA, - - - - -	22
3.1 La medida del ruido, - - - - -	22
3.2 Los campos acústicos, - - - - -	26
3.3 Instrumental de medida, - - - - -	32
3.4 Calibración, - - - - -	37
3.5 Métodos de medición, - - - - -	39
3.6 Procedimiento de medición, - - - - -	42
4. EL CONTROL DE RUIDO EN EL MEDIO, - - - - -	44
4.1 El control de ruido, - - - - -	44
Niveles límite de ruido permisibles en la industria, - - - - -	49
4.2 Los métodos de control de ruido, - - - - -	51
4.3 Control de ruido en el medio, - - - - -	58
5. TECNICAS DE CONTROL, - - - - -	66
5.1 Técnicas fundamentales de control de ruido, - - - - -	66

Artículo.	Página.
5.2 Técnicas de control de ruido basadas en el aislamiento acústico. - - - - -	71
Aislamiento de ruido por medio de la absorción. - - - - -	97
6.RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES. - - - - -	101
BIBLIOGRAFIA. - - - - -	104

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

Debido al avance de la tecnología y a la creciente industrialización que se ha venido presentando a nivel mundial como consecuencia de un acelerado desarrollo industrial y de transporte de los últimos años, se ha venido presentando la necesidad de la creación de un mayor número de industrias y fuentes de trabajo, capaces de colocarnos en mejores situaciones de vida. Como una consecuencia de la creación de nuevas industrias se han venido presentando una serie de problemas que antes no existían. Uno de estos problemas que se han venido incrementando en los últimos tiempos y cuya gravedad aumenta día con día es la contaminación del ambiente. Existen muchos elementos contaminantes de nuestro medio ambiente a pesar de que continúan surgiendo otros más, mientras que los ya existentes continúan aumentando.

El ruido es uno de los medios de contaminación que más han evolucionado en los últimos tiempos, además es uno de los que nos producen mayores molestias en la actualidad, ya que representa un grave peligro para la comunidad urbana, debido a que el número de alteraciones cau-

sadas a la salud cada vez mayor y resultaría imposible cuantificar la cantidad de los efectos nocivos causados al ser humano.

Con lo expuesto anteriormente nos podemos dar cuenta que el ruido representa mayor peligro de lo que comúnmente se supone, por lo cual surge la necesidad de elaboración de técnicas y métodos eficaces para controlar el ruido, capaces de abatirlo ó aislarlo completamente, según sea el problema que se nos presente.

Junto con la industrialización y el incremento del grado de contaminación, poco a poco también se han ido revolucionando las técnicas para controlar el ruido, así como también han surgido otras de mayores alcances que van adquiriendo mayor aceptación para el ingeniero encargado de la preservación del medio ambiente en que vivimos.

El presente trabajo está enfocado hacia el estudio y aplicación técnica de los métodos de abatimiento y control de ruido originado por las industrias en general. Trataremos en primer lugar de dar a conocer de una manera general los principios básicos de acústica para conocer la naturaleza del sonido, su forma, su propagación, la vibración como una causa del ruido, los niveles acústicos y presión de referencia, así como los principios generales que debemos conocer.

Además se dan a conocer los elementos de metrología acústica que deben ser conocidos como son los métodos de medición de ruido utilizados, así como los principales aparatos que se utilizan para realizar mediciones de ruido.

Dentro del control de ruido en el medio vamos a estudiar el porqué de la necesidad de controlar el ruido en el medio, además vamos a mencionar de una manera muy general los diferentes métodos de control de ruido existentes, con la finalidad de que sepamos de su existencia como verdaderos auxiliares para la completa realización de dicho control.

Se exponen también aquí las principales técnicas para el control de ruido en el medio, basandonos en la ley de masas y en la ley de frecuencias.

Como parte final exponemos una serie de recomendaciones de tipo industrial, con la finalidad de que sean otro auxiliar más para lograr un efectivo control de ruido dentro de la industria.

2 . P R I N C I P I O S B A S I C O S D E A C U S T I C A .

2.1 CONCEPTO DE SONIDO.

Sonido.

Es el resultado del movimiento vibratorio de una partícula en un medio determinado, cuya frecuencia de vibración se encuentra entre 20 y 20 000 Hz., y cuya intensidad se haya entre 1×10^{-12} y 1 Watt/m^2 .

Ruido.

El ruido se define como todo sonido indeseable. Puede ser cualquier sonido que cause molestias interfiriendo con el sueño, el trabajo, el descanso ó que lesione ó dañe física ó psicológicamente al individuo.

En cualquier parte existe siempre algo de ruido. Generalmente el ruido proviene de diferentes fuentes localizadas a diferentes distancias y en ocasiones se presenta reflejado por las paredes, así como en algunos casos puede provenir de todas las direcciones.

Se define por ruido ambiente al ruido total existente en un determinado recinto (cualquier confinamiento de un espacio físico).

Fenómeno sonoro.

Consiste en la producción de energía acústica por una fuente, así como su propagación a través de un medio y su recepción por un elemento, generalmente el oído humano.

Para que exista el fenómeno sonoro deberán de existir los tres tipos de elementos descritos anteriormente.

A continuación vamos a ver de una manera muy general el concepto de vibración simple y sus características principales.

Vibración simple.

Los elementos básicos para que exista la vibración simple son los siguientes:

- a) una partícula en movimiento, cuya característica es su masa.
- b) un medio elástico (uniforme e isotrópico) en donde se mueva la partícula y le permita recuperarse en sus diferentes desplazamientos.
- c) una perturbación que cause el desplazamiento inicial.

La vibración simple es un fenómeno susceptible de medición y sus parámetros son:

- a) frecuencia.
- b) amplitud.

Frecuencia.

Es el número de ciclos por segundo de la vibración. La frecuencia se mide en Hertz (Hz).

Amplitud.

Es el mayor desplazamiento de la partícula en vibración.

Ciclo.

Es cada una de las repeticiones completas de la vibración.

La frecuencia depende de la masa de la partícula en vibración, así como del medio elástico.

La amplitud da una idea de la energía empleada en el movimiento y sólo depende de la perturbación causada por la vibración.

Propagación de la vibración.

Una fuente sonora deberá tener la propiedad de poder comunicar su vibración a las partículas que la rodean.

Presión sonora.

Es la variación que sufre la presión atmosférica cuando se produce un sonido. Puede ser positiva ó negativa, todo depende de la presión total que en el instante de medición sea mayor ó menor a la presión atmosférica media (2×10^{-5} Pascales = 20 μ Pa.).

Variación de la presión sonora y propagación del sonido en relación a la distancia.

En el aire libre la propagación del sonido se efectúa en todas direcciones en forma de ondas esféricas. Sin encontrar superficies reflejantes la presión sonora disminuye al aumentar la distancia a la fuente generadora del sonido. Esta variación se puede visualizar mejor por medio de las Figs. 2.1 y 2.2 .

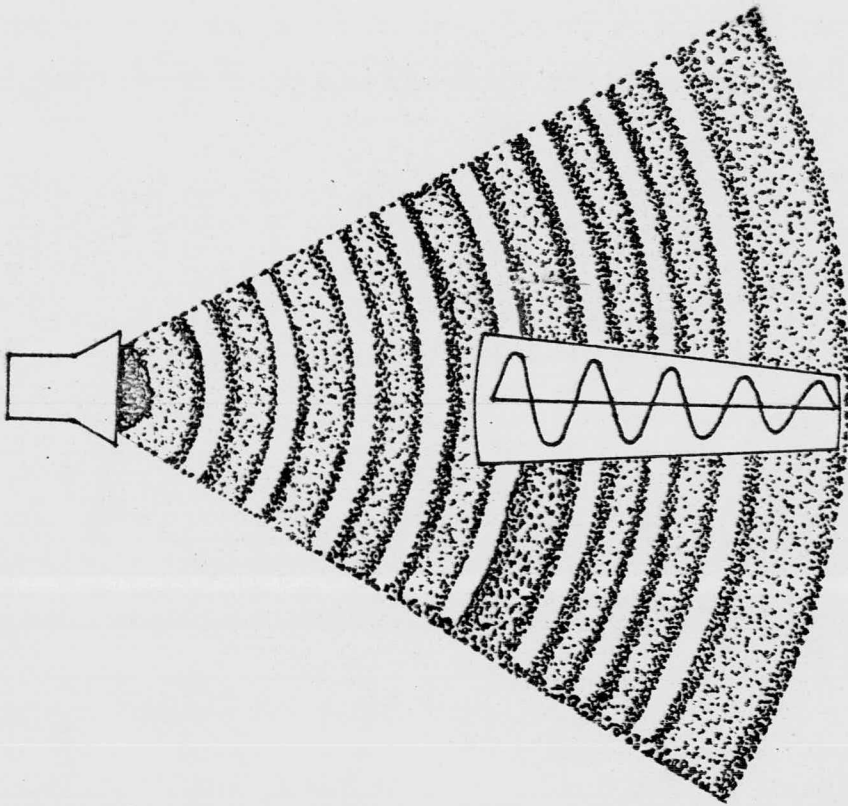


Fig. 2.1 PROPAGACION DE LA ONDA ACUSTICA DE UNA FUENTE.

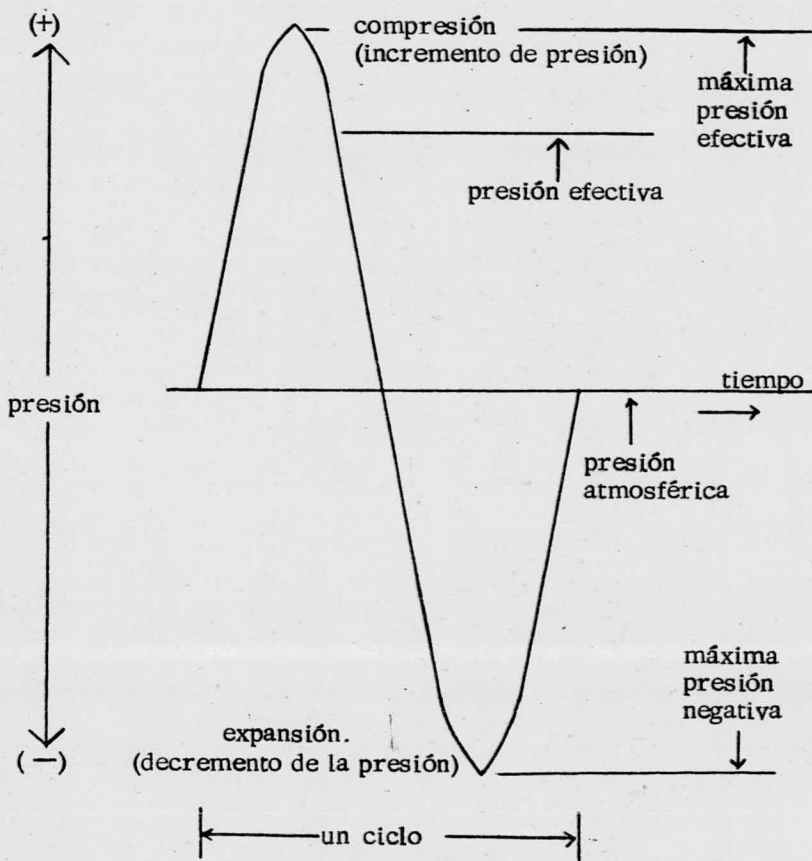


Fig. 2.2 VARIACION DE LA PRESION DE UNA ONDA SONORA EN RELACION AL TIEMPO.

2.2 NIVELES ACUSTICOS.

La variación del ámbito de intensidades acústicas es muy grande, ya que varía de 1×10^{-12} a 1 Watt/m^2 . Por tal motivo se recurre a la utilización de una escala logarítmica para su medición.

Se define el nivel de intensidad acústica como el valor de 10 veces el logaritmo decimal de la relación de una intensidad acústica cualquiera y la de referencia, que equivale a $1 \times 10^{-12} \text{ Watts/m}^2$. El nivel de intensidad acústica se mide en decibeles (dB). Se puede estimar con la siguiente expresión:

$$\text{NIA} = 10 \log (I/I_r) \quad (\text{dB})$$

Donde:

NIA: es el nivel de intensidad acústica.

I: es una intensidad acústica cualquiera.

I_r : es la intensidad acústica de referencia.

La intensidad acústica está íntimamente relacionada con la presión del medio de propagación. En la práctica resulta mas fácil medir presiones que intensidades, por lo cual se tiene la siguiente definición:

Nivel de presión sonora.

La presión sonora producida por un motor potente puede ser mucho

mayor de 20 Pascales, ó sea un millón de veces la presión mínima audible.

Para facilitar el manejo del rango de valores de presión tan amplio se utilizan los niveles de presión sonora, en lugar de la presión sonora.

La unidad utilizada para medir el nivel de presión sonora es el decibel (dB). En general el nivel de presión sonora se puede estimar con la siguiente expresión:

$$NPS = 20 \log (P/Po) \quad (dB)$$

Donde:

Po : es una presión de referencia.

P : es la presión sonora que se desea medir.

NPS : es el nivel de presión sonora.

Presión de referencia.

La presión de referencia que se utiliza para tomar mediciones acústicas es 2×10^{-5} Pascales , con lo cual se puede obtener fácilmente el nivel de presión sonora.

La presión de referencia de 2×10^{-5} Pascales representa aproximadamente el umbral de audición a 1 KHz.

2.3 REVERBERACION.

En el interior de un local la energía sonora se propaga de acuerdo a la forma y a las propiedades de reflexión del local. La persona que se encuentra en el interior recibe el sonido procedente del generador de ruido, por propagación directa y por medio de reflexiones de los cerramientos del local. Las reflexiones provocan que el nivel de ruido aumente en el interior respecto al que existe para las mismas condiciones en el exterior del local.

El sonido directo es función únicamente de la intensidad de la fuente sonora y de la distancia del oyente, en cambio los sonidos reflejados son función del camino recorrido, del número de reflexiones y de la absorción de las superficies para cada una de dichas reflexiones. Por lo que en el nivel sonoro total que percibe el oyente influyen la forma, las dimensiones y los materiales del local.

La reverberación no se convierte en un fenómeno molesto hasta que no supera cierta duración, aunque en ocasiones también puede ser molesta la reverberación muy corta. Los efectos de un tiempo de reverberación muy corto nos transformarían los efectos acústicos en secos e incoloros, además necesitaríamos más energía para obtener un cierto nivel sonoro.

Para el control acústico interno de la reverberación de un local, los factores principales que se deben tener en cuenta para el diseño son:

La naturaleza de las paredes, el número de ocupantes, la disposición en relación a la fuente sonora y las dimensiones del local.

Cálculo del Tiempo de Reverberación.

En base a experimentos basados en las principales teorías de la difusión del sonido, se han elaborado distintos sistemas para calcular el Tiempo de Reverberación de un local de Proyecto. Los sistemas más usuales se han resumido a fórmulas de aplicación sencilla. A continuación mencionamos las fórmulas de mayor aplicación en el cálculo del Tiempo de Reverberación.

Fórmula de Sabine.

El tiempo T de Reverberación (en segundos) de un local se puede calcular con la siguiente expresión:

$$T = 0.161 (V / A)$$

Donde:

V: es el volumen del local en m^3 .

A: es la absorción del local en m^2 -Sabine.

A la suma $(\sum A_n S_n)$ de los productos de las superficies por su coeficiente de Absorción se le llama unidades de Absorción ó Sabines, y dicha suma tendrá un valor distinto para cada frecuencia del sonido.

Fórmula de Eyring.

El tiempo de reverberación se determina con la siguiente expresión:

$$T_e = 0.161 (V / A_e)$$

Donde:

T_e : es el tiempo de reverberación de Eyring en segundos.

A_e : es la absorción del local en m^2 - Sabine.

Además se cumple que:

$$A_e = | - \ln (1 - \alpha) | A_t$$

Donde:

α : es el coeficiente de absorción medio del local y es adimensional.

A_t : es el área total del local en m^2 .

El coeficiente de absorción medio del local (α) se obtiene por medio de la siguiente expresión:

$$\alpha = (iA_i / A_t)$$

Donde:

A_i : es la absorción del elemento i del local en m^2 - Sabine.

Utilización de las fórmulas.

Resulta conveniente el empleo de la fórmula de Sabine en las condi-

ciones siguientes:

- cuando el coeficiente de absorción medio sea relativamente bajo (≤ 0.25).

- cuando los materiales absorbentes están distribuidos uniformemente.

- cuando los valores de los coeficientes de absorción no ofrecen muchas garantías en el estudio de predimensionamiento.

La fórmula de Eyring se deberá aplicar en los siguientes casos:

- cuando los materiales absorbentes están distribuidos uniformemente.

- cuando se requiere un cálculo preciso.

- cuando los valores de los coeficientes de absorción son exactos y se requiere exactitud.

Tiempo de reverberación con absorción de aire.

La resistencia que el aire ofrece a la propagación del sonido influye en el fenómeno de la reverberación.

Para el cálculo del tiempo de reverberación el fenómeno de la absorción se toma como unas unidades de absorción adicionales que son aumentadas al denominador en las fórmulas para encontrar el tiempo de reverberación. Estos valores solo tienen influencia apreciable para las frecuencias superiores a 2 000 Hz.

Control de la reverberación.

En un local el control de la reverberación depende del volumen del material utilizado, así como del tipo y tamaño del mismo material. Además para controlar la reverberación existen otros factores importantes que deben tomarse en cuenta como son el acabado y la forma que tengan las superficies.

Dimensiones del interior.

En un local el número de reflexiones que se producen por unidad de tiempo, es inversamente proporcional al tamaño del local. Por lo que a medida que aumenta el tamaño del local; menor es el número de reflexiones por unidad de tiempo que se producen, con lo que disminuye el grado de difusión. Por lo tanto en los locales mayores son demasiadas las precauciones que se deben tomar para que exista difusión.

Si tenemos instalado un aparato de sonido en un local y por algunas razones necesitamos aumentar las dimensiones del local para mantener las mismas unidades de absorción, es necesario aumentar las reflexiones del local y por lo tanto el tiempo de reverberación del mismo. Con esto se consigue un nivel sonoro constante para locales de volúmenes mayores con potencia idéntica de la fuente sonora si aumentamos el tiempo de reverberación del local.

El aumento del tiempo de reverberación no puede hacerse indefinidamente, ya que su abuso nos puede dar como resultado fenómenos molestos al sobrepasar ciertos valores, tales fenómenos pueden ser super

posición de sílabas, desfiguración del sonido, etc.

En la práctica el tiempo de reverberación se toma en función del destino y volumen del local. Además del tiempo de reverberación que podemos hacer variar al aumentar ó disminuir las dimensiones del local y lo más usual es encontrar el tiempo de reverberación y ajustarlo a la frecuencia de 512 Hz, que se toma como el centro de los sonidos normales. Es importante mencionar que el tiempo de reverberación depende, en gran proporción, de la frecuencia del sonido.

Obtención de los coeficientes de absorción deseados por medio de la distribución de los materiales absorbentes.

Para dicha obtención se deberá elegir entre materiales de coeficiente de absorción variable como revestimiento de muros, suelos (pisos), techos, mobiliario, etc. Se aconseja conseguir una distribución fraccio--nada de absorbentes y reflejantes por todas las superficies del local, ya que de lo contrario si las zonas ó superficies absorbentes se colocan en forma continua en un solo sector y se dejan otras zonas reflectantes diferentes, no se obtendrá una buena difusión del sonido, ya que la zona absorbente extinguirá las ondas que lleguen a ella ;impidiendo por lo tanto las reflexiones y la dispersión adecuada de las ondas.

En locales especiales y de una cierta dimensión se combina la regla anterior con las que resulten del estudio geométrico de la reflexión acústica de las ondas existentes en el local. Para evitar la presencia de

ecos ó cuando se desea reforzar alguna onda acústica en una determinada dirección se pueden anular ó convertir en reflectantes al máximo de terminadas superficies del local.

Este caso presenta mayor aplicación en locales de audición acústica como las salas de conferencia con que cuentan las empresas en las cuales trabaja un grán número de obreros.

La influencia de la forma y tamaño de las superficies en el control de la reverberación.

Las superficies convexas tienden a dispersar el sonido, las superficies cóncavas tienen la propiedad de concentrar el sonido. Para obtener una difusión adecuada del sonido será necesaria la creación de una gran variedad de tipos y tamaños de convexidades de acuerdo a las diferentes longitudes de onda del sonido.

De una manera general es aconsejable la instalación de todo aquello que trate de aumentar y dispersar las reflexiones para incrementar la difusión, tales como: irregularidades, relieves, objetos decorativos y muebles. Para esto se debió de tomar en cuenta que cualquier irregularidad en un paramento aumenta la superficie de contacto aire-muro, con lo cual se aumentan las unidades de absorción (con un mismo coeficiente de absorción del material). Podemos decir que toda irregularidad de acabados difunde mejor el sonido y disminuye el tiempo de reverberación del local, manteniendolo en condiciones adecuadas de sonido.

2.4 TRANSMISION DEL SONIDO.

Transmisión de un local a otro.

Las ondas sonoras emitidas por una fuente de ruido dentro de un local alcanzan siempre a los demás locales.

Para una fuente dada el aislamiento que existe en el local receptivo con respecto al local de emisión es la diferencia que existe entre los niveles de presión acústica de los sonidos generados en ambos locales.

Al realizar mediciones se debe tomar la precaución de escoger los puntos más alejados de la fuente con la finalidad de medir el campo sonoro reverberado. Además se escogerán puntos alejados de las paredes para evitar medir una concordancia de fases entre las ondas que inciden sobre las paredes y las ondas reflejadas.

En el caso de locales contiguos el sonido se transmite de dos maneras distintas que son las siguientes:

- a) a través de la pared que separa los dos locales (ver figura 23).
- b) por medio de las ventanas y orificios que tengan las paredes.

En la figura siguiente se pueden apreciar los cambios que sufre la energía al chocar con una pared.

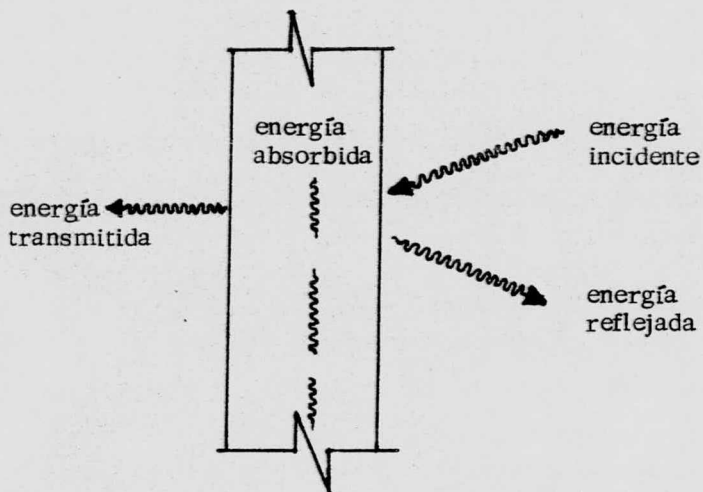


Fig. 2.3 CAMBIOS QUE SUFRE LA ENERGIA ACUSTICA CUANDO CHOCA CON UNA PARED. UNA PARTE SE REFLEJA, OTRA PARTE ES ABSORBIDA POR LA PARED Y LA PARTE RESTANTE SE TRANSMITE A TRAVES DE LA PARED.

La transmisión directa de las ondas sonoras que atraviesan las paredes se calcula con la siguiente expresión:

$$t = I_2 / I_1$$

— Donde:

t: es el factor de transmisión.

I_2 : es la intensidad del sonido transmitido por la pared de separación.

I_1 : es la intensidad del sonido incidente sobre la pared.

Índice de reducción acústica de una pared.

Se calcula por la expresión siguiente:

$$R = 10 \log (1/ t)$$

Donde:

R: es el índice de reducción acústica.

t: es la transmisión directa de las ondas sonoras.

El índice de reducción R de una pared se expresa en decibeles. Se obtiene por mediciones de laboratorio sin que existan transmisiones in directas.

El índice de reducción acústica presenta una importante relación con el aislamiento. A continuación estudiaremos dicha relación.

El índice de reducción acústico y su relación con el aislamiento.

Cuando la transmisión de un local a otro se hace directamente, exis te una relación entre el aislamiento y la reducción acústica. Dicha rela ción es la siguiente:

$$D = R + 10 \log (A / S)$$

Donde:

D: es el aislamiento acústico de la pared intermedia entre los loca-

les.

R: es el índice de reducción acústica.

A: es el area de absorción equivalente del local de recepción.

S: es la superficie de la pared que separa a los dos locales.

3 . ELEMENTOS DE METROLOGIA ACUSTICA .

3.1 LA MEDIDA DEL RUIDO.

La medición del sonido se hace con el objeto de conocer la cuantificación de sus parámetros. Para un sonido puro sus parámetros son la frecuencia y la amplitud. Para un sonido complejo los parámetros son frecuencia central, amplitud de la banda de frecuencias y la intensidad.

Medir significa comparar un cierto objeto con un patrón determinado. La medición resulta sencilla cuando se trata de objetos tangibles, pero el problema empieza cuando se trata de medir un objeto intangible y sus propiedades cuantitativas son referidas a los efectos que produce como presión.

La frecuencia y la intensidad son los parámetros fundamentales del sonido y estos son los elementos que deberán ser medidos.

Lo mas sencillo de medir es la intensidad, ya que es una manifestación de la energía acústica producida por el sonido. La intensidad de un sonido no puede ser medida realmente, ya que no existe un instrumento que permita establecer una comparación con un valor de referencia. Las

presiones acústicas producidas por el sonido son muy fáciles de ser detectadas por instrumentos, de tal manera que a partir de la medición de presiones acústicas podemos conocer la intensidad acústica.

Tenemos la intensidad de referencia de 1×10^{-12} Watts/m², que equivale a 2×10^{-5} Pascales de presión acústica. En la práctica resulta más fácil medir diferencias de presiones en un medio determinado como ya habíamos mencionado anteriormente por lo cual usamos el concepto de nivel de presión sonora referido a 2×10^{-5} Pascales.

La medida de los niveles de presión sonora se realiza con la ayuda de un sonómetro. Este aparato posee un micrófono, un amplificador, filtros de ponderación y un cuadrante de lectura.

Cuando se mide un ruido el micrófono capta toda la energía acústica de dicho ruido, independientemente de las frecuencias que lo componen. Un ruido puede estar compuesto por una multitud de sonidos de frecuencias diferentes y un análisis detallado sería muy laborioso.

En la acústica de la construcción se ha separado el ruido en zonas que corresponden a intervalos de frecuencias. Para medir el nivel sonoro de cada una de estas zonas, se introducen entre el amplificador y el cuadrante de lectura del sonómetro filtros que solo dejan pasar la energía acústica contenida en una banda de frecuencias. Las bandas de frecuencia de análisis no pueden ser cualesquiera. La separación es regular y puede corresponder a intervalos de octava, de media octava y de un tercio de octava. Se denomina "octava" como en música al intervalo

entre dos sonidos puros cuyas frecuencias están en relación $2/1$ entre si. Por ejemplo los intervalos de 100-200 Hz, 320-640 Hz son intervalos de octava.

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

El espectro sonoro del ruido se determina midiendo el nivel sonoro de este ruido en cada banda de frecuencias. La representación gráfica del espectro se hace sobre un tramo semilogarítmico. En el eje de las abscisas se coloca la escala logarítmica de las frecuencias, en el eje de las ordenadas una escala aritmética de valores de niveles sonoros.

Para poder medir las frecuencias es necesario un aparato complejo que recibe el nombre de analizador. Este aparato contiene un transductor capaz de transformar las presiones en impulsos eléctricos, además contiene un conjunto muy grande de filtros, de tal manera que por un procedimiento de prueba error, se ve si la señal captada produce un impulso considerable al ser filtrada por una red adecuada de filtros. Se debe tener en cuenta que los sonidos son fenómenos complejos que presentan más de una frecuencia medible. Al conjunto de estas frecuencias que presenta un sonido se le llama banda de frecuencias y esta banda es muchas ocasiones más indicativa de las características del sonido que la obtención de una sola frecuencia en particular.

El ruido es un fenómeno subjetivo, por lo cual su medición debe de realizarse en relación con los parámetros físicos que el sonido generado pueda tener y además en función de las molestias, transtornos y alteraciones que el ruido causa a los individuos.

3.2 LOS CAMPOS ACUSTICOS.

Uno de nuestros grandes problemas al realizar una medición, es el saber que lo que se ha medido es realmente lo que se quiere medir.

La razón por la que muchas mediciones acústicas no son satisfactorias es el desconocimiento del comportamiento del sonido.

Muchas veces al querer medir el ruido producido por una máquina lo que en realidad se mide es el ruido reflejado por las paredes del local ó del claústro donde se encuentra la máquina en estudio.

El estudio del comportamiento del sonido en el espacio se lleva a cabo por medio de los campos acústicos.

Se conoce por campo acústico al espacio físico en donde en cada punto puede identificarse una determinada intensidad acústica.

Los campos acústicos dependen de los confinamientos en donde se encuentre la fuente sonora.

Tenemos las siguientes definiciones:

Recinto: es la limitación de un espacio físico.

Cláustro: es un recinto cerrado.

Además tenemos las siguientes definiciones relacionadas con los recintos:

Campo acústico libre: es aquel que no se encuentra limitado como recinto ó donde las características de limitación son despreciables.

Campo reverberante: es aquel campo acústico dentro de un recinto que está sujeto a la reverberación.

Campo difuso: es aquel campo acústico dentro de un claustro en el que todo punto tiene la misma intensidad de energía acústica.

De acuerdo con la posición relativa del receptor y la fuente, los campos pueden ser divididos en campo acústico cercano y campo acústico lejano.

Campo acústico cercano: es aquél en donde el receptor se encuentra alejado de la fuente una distancia no mayor al recíproco del doble del número de onda. La distancia se estima con la siguiente ecuación:

$$a \leq 1/(2k)$$

Donde:

a: representa la distancia de la fuente al receptor.

k: representa el número de onda.

El número de onda se obtiene con la siguiente relación:

$$k = (2\pi / \lambda)$$

Donde:

k: es el número de onda.

L: es la longitud de la onda.

Campo acústico lejano: es aquel en el cual el receptor se encuentra alejado de la fuente una distancia mayor ó igual al recíproco del doble del número de onda. Dicha distancia se estima con la relación siguiente:

$$a \geq (1/2k)$$

Donde:

a: es la distancia del receptor a la fuente.

k: es el número de onda.

Según su forma los campos acústicos pueden ser planos, esféricos ó cilíndricos. Por ejemplo una máquina trabajando en campo libre puede formar un campo esférico en el campo cercano (como se muestra en la figura 3.1) y un campo plano en el campo lejano. Una calle ó una carretera es un campo cilíndrico (como se muestra en la figura 3.2).

Una habitación común y corriente es un campo acústico reverberante. Si se requiere conocer la intensidad del ruido de una fuente sonora colocada dentro de una habitación (una cantante por ejemplo) se debe medir el sonido generado por la fuente, en un lugar en donde el campo sonoro producido directamente por dicho sonido sea superior al del

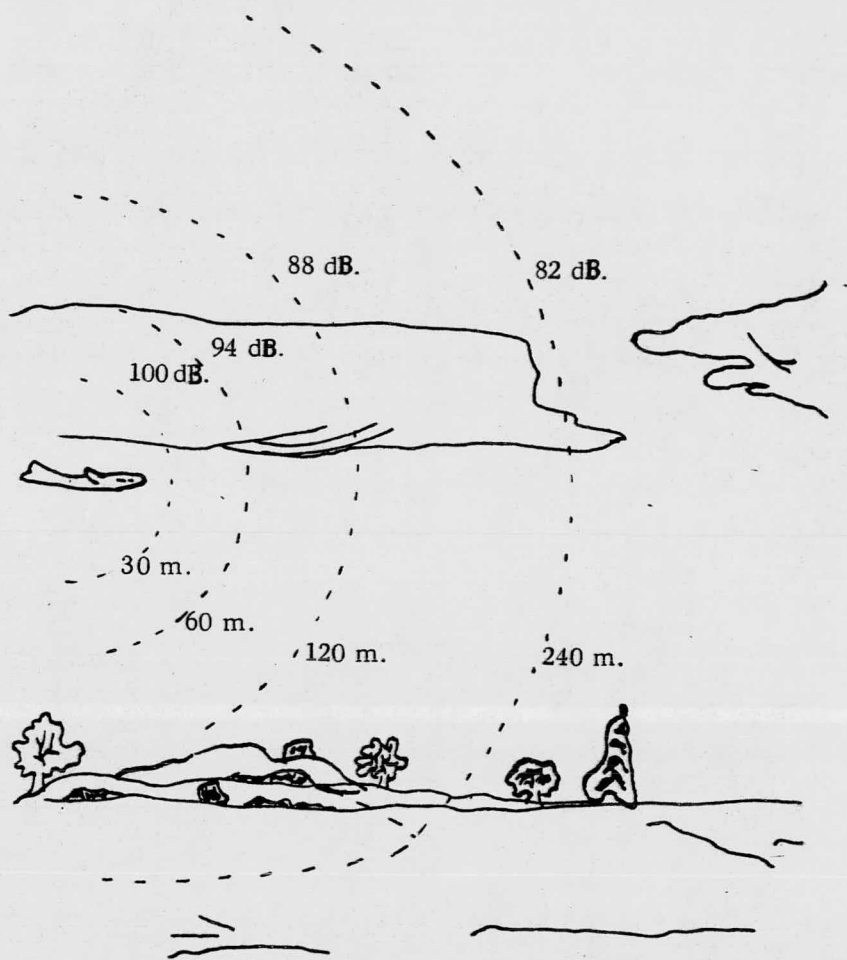


Fig. 3.1 PROPAGACION DE LAS ONDAS ACUSTICAS EN UN CAMPO ACUSTICO ESFERICO.

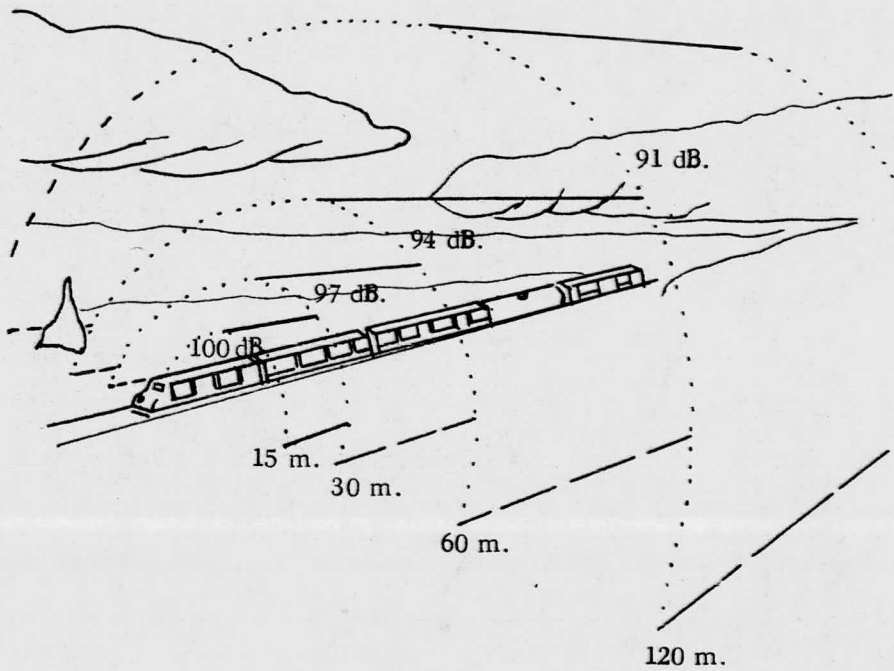


Fig. 3.2 FORMA DE PROPAGACION DE LAS ONDAS ACUSTICAS
EN UN CAMPO ACUSTICO CILINDRICO.

campo reverberante donde se encuentre , porque de lo contrario lo que estaremos midiendo será el "ruido ambiente" .

A manera de resumen la clasificación de los campos acústicos queda expresada de la siguiente forma:

De acuerdo a los confinamientos los campos pueden ser:

- libre.
- reverberante.
- difuso.

De acuerdo a su posición podrán ser:

- cercano.
- lejano.

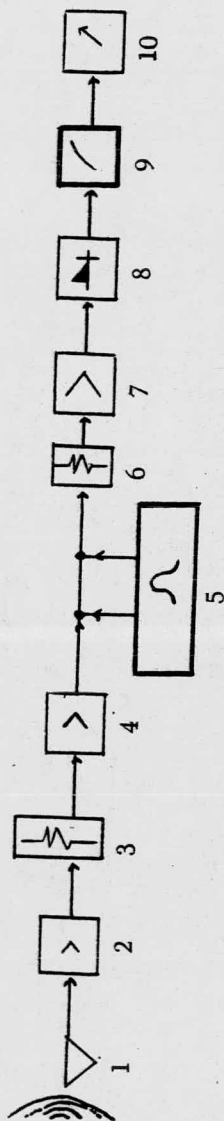
Finalmente de acuerdo a la geometría serán:

- esférico.
- cilíndrico.
- plano.
- otros.

3.3 INSTRUMENTAL DE MEDICION.

Para medir el sonido es necesario tener un elemento capaz de transformar las presiones acústicas en ondas electromagnéticas, así como necesitamos también una serie de correctores de estas ondas, así como un aparato de medida de la magnitud de las mismas ondas . El instrumento capaz de transformar presiones en impulsos eléctricos se llama transductor, que para el caso particular del sonido se conoce como micrófono . Además del transductor es necesario un medidor . Estos dos aparatos se pueden integrar para formar un solo aparato que puede ser portátil ó fijo de laboratorio y a este nuevo elemento se le conoce como decibelímetro ó más conocido como sonómetro. Ver Fig. 3.3 .

De los elementos que forman el sonómetro , el transductor es uno de los más importantes y su funcionamiento depende de la confiabilidad que tenga para transformar las diferencias de presión de un campo acústico en impulsos eléctricos. Esta transformación depende del tamaño del micrófono, del mecanismo empleado, de la forma del micrófono, así como de las condiciones climatológicas del medio (temperatura, humedad, etc). Los micrófonos que se emplean más comunmente para mediciones de ruido se conocen con el nombre de tipo dinámico ó de condensador y sus tamaños varían de 1/8" (3.18 mm) a 1" (25.4 mm) . Sus formas pueden ser cilíndricas, cónicas estriadas, etc . La elección



1- micrófono.

2- preamplificador.

3- atenuador.

4- amplificador.

5- filtro exterior ó interior.

6- atenuador.

7- amplificador.

8- rectificador.

9- convertidor (Lin / Log).

10- indicador.

Fig.3.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN EL SONOMETRO.

del micrófono depende del tamaño físico de lo que se quiere medir, del ámbito de frecuencias que se desea medir y del lugar en que se quiere realizar la medición. Antes de seleccionar un micrófono se sugiere hacer una lista de los que se quieren utilizar, anotando las características de cada uno de ellos.

Existen algunos accesorios que se colocan a los micrófonos, como el corrector para incidencia aleatoria, el cono de turbulencias ó las pantallas de viento que se utilizan en determinadas ocasiones. Existen además ciertos aditamentos que permiten controlar siempre la humedad que actúa sobre el diafragma del micrófono.

Los sonómetros traen incorporados circuitos de amplificación y de rectificación de la señal. En el caso de usar el micrófono por separado es necesario agregar circuitos amplificadores y rectificadores, además eliminadores del factor de fase por la inductancia de la línea.

Existe un aparato capaz de transformar impulsos eléctricos en mecánicos y de esta manera dibujar sobre una cinta de papel en movimiento los resultados de la medición dicho aparato se conoce como registrador gráfico. Este registrador tiene varias limitaciones, como las relacionadas con la velocidad a la que se mueve la cinta de papel y la aguja marcadora. A pesar de esto es un auxiliar en el estudio y procesamiento de los datos medidos. Este aparato se debe colocar en un lugar fijo como sería un laboratorio ó un camión de mediciones. Cuando no puede transportarse el registrador gráfico hasta el lugar de medición; se rea-

liza una medición en cinta magnetofónica para después ser reproducida en el laboratorio.

La realización de la grabación trae consecuencias y requerimientos, ya que no se puede usar una grabadora tipo doméstico para hacer estas mediciones, ni tampoco los cassettes, ya que se debe usar cinta magnetofónica.

La grabadora que se utiliza tendrá las siguientes características:

- a) velocidad constante y uniforme.
- b) entrada compatible con la señal de medición.
- c) control manual y automático.
- d) regulación posible.

Son pocas las grabadoras que cumplen con estas características y además son de alto costo. No se pueden usar los circuitos dolby que son tan usuales en las grabadoras domésticas.

La cinta magnetofónica que debemos utilizar deberá tener las características siguientes:

- a) relación señal para ruido bajo (low noise).
- b) un porcentaje de alargamiento mínimo.
- c) invariancia con la temperatura.

Nos enfrentamos nuevamente con una serie de dificultades, principalmente de tipo comercial, pero mencionaremos a continuación otros de los aparatos de utilidad en mediciones acústicas.

El dosificador de ruido:es un aparato de gran utilidad y tiene como función contar los máximos de intensidad, frecuencia y duración del ruido en un tiempo determinado.

El analizador de distribución estadística:es otro de los aparatos de gran utilidad dentro del instrumental utilizado en las mediciones acústicas . Junto con el registrador gráfico proporciona un método simple para la obtención de la distribución del ruido en relación a las frecuencias .

3.4 CALIBRACION.

La calibración es el ajuste de un instrumento de medición con el fin de obtener resultados precisos y exactos en relación a los valores y patrones de referencia.

Antes de realizar una medición se debe tomar en cuenta que es de gran importancia la verificación de que la señal captada por el aparato de medición corresponde a la marca leída.

Para este fin se utilizan aparatos llamados calibradores . Los de mayor uso en el campo de la acústica son los pistófonos , cuya función es la de proporcionar una señal constante y uniforme.

La señal del pistófono debe ser corregida por presión atmosférica y además deberá corregirse por temperatura y humedad.

Además resulta de gran importancia la calibración mecánica para asegurarnos de que todas las partes móviles trabajen dentro de los ámbitos de tolerancia.

Los micrófonos constantemente deberán estar calibrándose . Para ello se utiliza el método de calibración recíproca, para lo cual existen aparatos ya definidos con anterioridad por los sistemas propios de los fabricantes de equipo electrónico.

Un sonómetro de buena calidad generalmente trae incorporado un circuito interno de autocalibración, el cual no necesita ser verificado

y sólo se calibra cuando la confiabilidad del aparato se encuentra en duda.

3.5 METODOS DE MEDICION.

Existe un método diferente de medición para cada caso particular, pero mencionaremos a continuación algunos de los más generales.

Si se trata de medir el "ruido ambiente" (intensidad de un campo sujeto a la reverberación) deben hacerse mediciones por series, tomando tres posiciones diferentes en cada punto, usando el botón de integración lenta con que cuenta el sonómetro.

Se recomienda hacer cinco lecturas de diez segundos cada una en cada posición. El valor buscado se obtiene por medio de un promedio aritmético de las cinco lecturas.

Si se trata de medir el ruido producido por una máquina, deberá buscarse que el valor a medir sea superior al del "ruido ambiente". Para esto las distancias no deberán ser menores de un metro (nunca se medirá el campo cercano).

Si se trata de establecer un criterio para evaluar los riesgos del ruido sobre el individuo, se aconseja hacer mediciones de "ruido ambiente".

Si se trata de medir el ruido producido por los vehículos, se busca un lugar plano y despejado a ambos lados de la superficie de rodamiento. Se debe buscar que los vehículos crucen por el lugar de medición a velocidades superiores a 50 Km/h.

Existen métodos normalizados para la realización de mediciones de ruido para diferentes situaciones en que se encuentre el ingeniero ambiental encargado de detectar la energía acústica, como son los siguientes:

La Norma Oficial Mexicana AA-43 "determinación del nivel sonoro emitido por fuentes fijas". En esta Norma se establece un procedimiento para determinar el nivel sonoro emitido por una fuente fija, tomando en cuenta la forma en que dicha fuente produce ese nivel sonoro, el lugar donde se encuentra, el efecto de otras fuentes que constituyen el nivel sonoro de fondo y el método de evaluación de resultados. Este es un procedimiento de campo, cuyos resultados son fijados por valores aleatorios, llevando un control estadístico de los mismos para asegurar la representatividad de los resultados.

Métodos de campo.

NOM C-102: medición en campo del nivel de presión acústica ó del nivel sonoro en el ambiente de un claustro.

NOM C-142: medición en campo del tiempo de reverberación en claustros.

NOM C-143: determinación de la absorción acústica en claustros a partir de mediciones de campo.

NOM C-171: determinación de la pérdida por transmisión y de la re

ducción acústica por sonidos aéreos en elementos de la construcción.

NOM C-172:determinación del nivel de presión acústica causado por impacto mecánico en elementos de la construcción a partir de mediciones en campo.

3.6 PROCEDIMIENTO DE MEDICION.

Incluiremos a forma de resumen una especie de instructivo que contiene las principales características que debemos perseguir cuando vamos a realizar una medición por ruido. Se recomienda llevar el orden y cumplir con los requisitos aquí mencionados, con la finalidad de no olvidar los puntos de vista fundamentales ó el objetivo de la medición.

El procedimiento de medición se puede enumerar de la manera que sigue:

- a) seleccionar bien un solo objetivo que deba medirse ya sea fuente fija, móvil ó "ruido ambiente".
- b) determinar el tipo de campo que forma la fuente y en donde se encuentra el objetivo.
- c) seleccionar el instrumental necesario para la medición (si se cuenta con elementos de sofisticación, es conveniente revisar si su empleo modifica realmente las condiciones simples de medición).
- d) realizar la calibración del instrumental.
- e) determinar las condiciones del lugar donde se va a realizar la medición y determinar un solo método de medición.
- f) analizar los resultados de la medición, para localizar las posibles desviaciones, así como las causas que las produjeron (muchas ve-

ces esto es mas importante e ilustrativo que la misma medición, ya que los números anteriores por sí solos no explican nada y solo por el análisis de los resultados podemos saber si lo que se hizo es en realidad lo que queriamos realizar.

4 . C O N T R O L D E R U I D O E N E L M E D I O .

4.1 CONTROL DE RUIDO.

Concepto de control .

Control es una operación que tiende a evitar el efecto negativo de una causa .

Si consideramos una causa tal que presente condiciones de invariancia, la introducción de control puede llegar a evitar un efecto negativo y sólo permitir los efectos positivos. El control es una medida indepen--diente de la causa en sí y no significa la supresión de dicha causa, sino una manipulación del efecto.

El control independientemente de la causa puede ser eficiente ó deficiente. Dicha eficiencia depende de lo adecuado que sea el control con respecto a la causa. Esto se puede apreciar en la Fig. 4.1 .

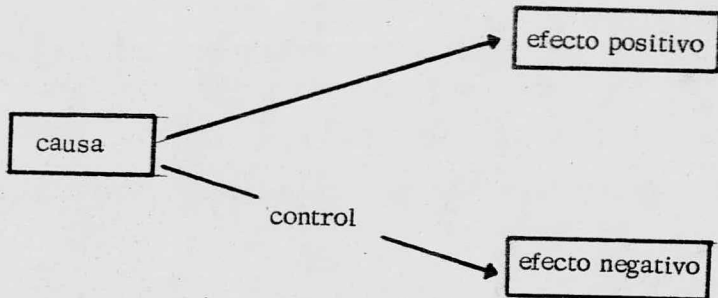


Fig. 4.1 EL CONTROL PUEDE SER EFICIENTE O DEFICIENTE.

La necesidad de control.

Es muy importante establecer una necesidad de control, ya que nada de lo que se ha expuesto hasta el momento sería objetivo sin una razón de ser. Se podría pensar que el problema fundamental de control de ruido en una empresa sería evitar que los trabajadores terminaran sordos, pero analizando la situación de una forma diferente vemos que la solución no es por ese camino, ya que de esta manera podríamos solucionar el gran problema de ruido industrial contratando trabajadores sordos.

Evaluando monetariamente las pérdidas industriales en función de las lesiones causadas por el ruido, podemos establecer una justificación de tipo económico. De acuerdo con las investigaciones realizadas en un

gran número de industrias, se ha comprobado que existe un periodo en el cual se detecta la existencia de una marcada mejoría de condiciones de la productividad de la empresa cuando se adoptan las medidas de control de ruido. Por otra parte el operador se adapta a mejores condiciones ambientales de trabajo. Pero es necesario mencionar que el control de ruido no influye directamente en la mejoría económica de la empresa.

La necesidad de control de ruido se basa en los siguientes conceptos:

El ruido es un intangible subjetivo y es un elemento incómodo; por lo que no puede ser evaluado objetivamente de una forma general. Es uno de los elementos que atacan al individuo y actúa produciendo acumulativa y rápidamente efectos psicológicos y posteriormente fisiológicos de los cuales algunos resultan irreversibles. Para la solución del problema de ruido se debe investigar lo que representa ese factor para cada uno de los trabajadores de la industria, y solo por la suma de las evaluaciones se podrán determinar resultados de beneficio colectivo.

En la medida que el control ruidoso produce efectos transitorios sobre la productividad de una empresa, se producen efectos de manera indirecta en los siguientes puntos:

- a) reducción del ausentismo de personal.
- b) confort en el trabajo.
- c) satisfacción en el trabajo.

- d) deseos de superación.
- e) seguridad en el trabajo.
- f) estabilidad emocional.

Con la solución de estos puntos el empresario evita problemas con el personal , además de otros objetivos importantes que se consiguen como sería el confort y una satisfacción más que nada de habernos liberado de un intangible como lo es el ruido , con lo que se adquiere una felicidad en el trabajo.

A manera de conclusión diremos que no se debe buscar el control de ruido por un fuerte deseo de salud física ó de un aumento productivo en el trabajo, pero si por una salud mental colectiva.

Recomendaciones.

El problema de ruido industrial presenta al obrero dos formas de molestia que son las siguientes:

Nivel de exposición.

Tiempo de exposición.

Siempre se deberá tratar de evitar la exposición de un obrero por tiempos mas ó menos largos a niveles altos de ruido. Un puesto determinado deberá ser cubierto por mas de un obrero durante la jornada laboral. La rotación de turnos, así como los períodos recuperativos en lugares con niveles bajos siempre son recomendables. Los períodos recuperativos son beneficiosos cuando se llevan a cabo en lugares de bajo nivel, pero no en lugares excesivamente bajos pues se caería en el defecto de la fatiga auditiva.

La Oficina Internacional del Trabajo recomienda que los límites de ruido deberán fijarse en función del objetivo buscado, en particular de la prevención, y establece un nivel de ruido de alarma de 85 dB(A) que corresponde al nivel de ruido por debajo del cual sea muy pequeño el riesgo de que un oído no protegido sufra un deterioro como una grave consecuencia de la exposición de 8 horas diarias. Se recomienda que el tiempo máximo permisible de exposición por jornada de trabajo de 8 horas en función del nivel de ruido, sin equipo de protección personal no excedan los siguientes valores.

Duración del ruido (Horas por día)	Nivel Sonoro en dB(A)
8 -----	90
7 -----	91
6 -----	92
5 -----	93
4 -----	95
3 -----	97
2 -----	100
1 -----	105
3/4 -----	107
1/2 -----	110
1/4 -----	115

Solamente en casos de urgencia ó necesidad técnica debería poder autorizarse temporalmente a un trabajador a exceder la exposición diaria, a condición de que al día siguiente el exceso sea compensado con una reducción equivalente, de modo que se respete la exposición máxima por semana de acuerdo a los niveles dados anteriormente.

Un trabajador no deberá penetrar sin protección auditiva adecuada a una zona cuyo nivel de ruido exceda de 115 dB(A), por muy breve que sea su permanencia en ella. Donde se produzcan ruidos aislados por impacto

que puedan exceder de 130 dB(A) deben utilizarse medios de protección personal.

Ningún trabajador deberá penetrar en una zona en que el nivel del ruido exceda de 140 dB(A), aún con protección auditiva.

Es recomendable realizar constantes interrogatorios sobre molestias producidas por el ruido, para prevenir y detectar los problemas de daños psicofísicos. Conviene llevar una estadística conductual del individuo acerca de su comportamiento observado dentro y fuera de la fábrica.

Es importante obtener una estadística histórica (durante el tiempo en que el individuo trabaje en la fábrica) del estado médico y audiométrico del sistema auditivo del obrero para preveer futuros riesgos, así como dotar al trabajador de la protección necesaria.

Es muy conveniente el empleo de protectores auditivos durante el tiempo de exposición de un obrero a niveles altos de ruido, aunque dicho tiempo de exposición sea pequeño. Algunos tipos de protectores auditivos son extremadamente incómodos en períodos largos de uso, por lo cual al obrero mexicano no le gusta usarlas, además de que le proporcionan una sensación de cobardía frente al peligro; pero el patrón de una forma ó de otra debe de educar e instruir a sus obreros en el uso de protectores para beneficio de su salud y como consecuencia para el beneficio de la empresa misma a la cual presta sus servicios.

4.2 LOS METODOS DE CONTROL DE RUIDO.

Anteriormente vimos que para que se pueda producir un sonido es necesaria la existencia de tres elementos (fuente, medio y receptor) que están ligados como se muestra en la Fig. 4.2 .

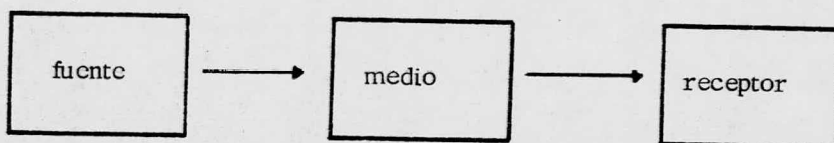


Fig. 4.2 RELACION ENTRE FUENTE, MEDIO Y RECEPTOR.

A falta de cualquiera de estos tres elementos no se puede producir el fenómeno sonoro.

La fuente es la propia causa del ruido, por lo que su eliminación significaría la suspensión de la actividad, luego entonces la supresión de la fuente no significa control.

La eliminación del medio sería un método absurdo de control debido a que el ruido puede llegar al receptor por si solo, de tal manera que la eliminación del medio no es una medida viable.

Finalmente se puede pensar como última instancia en la eliminación del receptor como una medida de control de ruido permitiendo a la fuente trabajar libremente. Realmente este procedimiento es poco factible de aplicación y por lo tanto es inoperante. Con lo expuesto anteriormente vemos que existe la imposibilidad de eliminación de cualquiera de los tres elementos que envuelven al fenómeno sonoro. De esta manera se ha establecido que para llevar a cabo el control de ruido debemos de pensar en el siguiente ordenamiento de las diferentes etapas de control de ruido:

- a) control en la fuente.
- b) control de procesos.
- c) control en el medio.
- d) control en el receptor.

Debemos de tomar en cuenta que la segunda etapa debe llevarse a cabo solo en el caso de que no podamos realizar la primera y en este orden se llevará a cabo la aplicación de las etapas posteriores.

Para poder entender el orden de las etapas mencionadas anteriormente, explicaremos a continuación de una manera muy general en que consiste cada una de dichas etapas:

Control en la fuente:

La mejor forma de solucionar un problema es no ocasionarlo y la mejor forma de solución para problemas de ruido consistirá en evitar, en lo posible la producción de ruido. La solución para controlar el ruido en la fuente puede tener varias etapas que serían las siguientes:

- a) antes de la adquisición de la máquina.
- b) durante la operación de la máquina.
- c) por medio de un rediseño de la máquina.
- d) por la sustitución de la máquina.

La etapa a) compete fundamentalmente al fabricante del equipo y el usuario solo se verá incluido en estas implicaciones cuando se ha llevado a cabo un diálogo sobre el tema con el fabricante de dicho equipo.

En la etapa b) competen simultáneamente el usuario, que es quién debe seguir las especificaciones óptimas de funcionamiento, así como el propio fabricante; que es quién indica cuáles son dichas especificaciones.

Para la etapa c) el usuario es el que establece que el diseño original no era válido para esas condiciones particulares de operación, por lo cual la máquina necesitaba ser rediseñada de acuerdo con alguna técnica de la ingeniería mecánica.

La realización de la etapa d) es una solución radical que nos indica que el rediseño no es posible en términos económicos ó de ingeniería

mecánica y que es necesaria una sustitución total.

Debido a que las medidas de solución para controlar el ruido en la fuente se encuentran situadas dentro del campo de estudio de la ingeniería mecánica no las vamos a contemplar con detalle en este trabajo.

Control de procesos.

Como vimos anteriormente el control de ruido en la fuente indica una alteración de la fuente, de este modo el control de procesos consiste en el análisis del uso de una serie de fuentes dentro de un proceso industrial.

Las fuentes se alteran por el proceso donde se emplean, por lo que el control de procesos depende de las actividades de la empresa. Este tipo de control se puede realizar antes ó después de que el producto entra en una máquina, ó en el periodo de tiempo en el cual el producto está dentro de la máquina.

El control de procesos es una ampliación del análisis de operaciones empleado por la ingeniería industrial, razón por la que no lo vamos a contemplar detalladamente en nuestro estudio.

Control de ruido en el medio.

Para controlar el ruido dentro del medio se pueden detectar dos faces principales que son las siguientes:

a) evitar la propagación acústica por medio del aislamiento.

b) tratar de obtener un máximo de pérdidas energéticas por absorción del local.

Con estas observaciones nos damos cuenta que los métodos de solución para el control de ruido en el medio se encuentran situadas completamente dentro del campo de estudio de la ingeniería civil, por lo cual el objetivo de este trabajo está enfocado hacia el control de ruido en el medio.

Posteriormente veremos con mayor detalle los métodos que se utilizan para controlar el ruido dentro del medio.

Control de ruido en el receptor.

El objetivo principal de controlar el ruido en el receptor consiste en evitar que el oído humano se vea afectado y tenga dificultades posteriormente con la comunicación oral. Tomando en cuenta el principio anterior tenemos las siguientes posibilidades de realizar el control del ruido:

- a) a nivel colectivo.
- b) a nivel individual.

Todo método de protección colectiva siempre deberá de tener una prioridad sobre cualquier otro. Los métodos de control a nivel colectivo en el receptor son de poca efectividad y se limitan a estudiar la interrelación de los trabajadores que realizan alguna actividad dentro de la empresa.

Las medidas de protección individual deberán ser consideradas en casos extremos , cuando todas las otras medidas fallaron, ó en algunos casos de emergencia . Debemos considerar que las medidas de protección individual no deben ser las primeras y las únicas a ser tomadas, sino por lo contrario serán las últimas. Muchas empresas cuando se les presenta un problema de ruido lo resuelven adquiriendo un equipo de protección individual, pero debemos aclarar que en lugar de solucionar nuestro problema, nos creará otras dificultades más, derivadas del problema que originalmente pretendíamos resolver.

De cualquier manera las medidas de control para proteger al oído humano son de la atención del campo de estudio de la medicina , por la razón misma que no las vamos a considerar aquí; pero es necesario (como una necesidad más) mencionarlas como una medida para realizar el control de ruido.

Para comprender mejor la utilización de cada uno de los métodos de control de ruido se tiene el siguiente diagrama (ver Fig. 4.3).

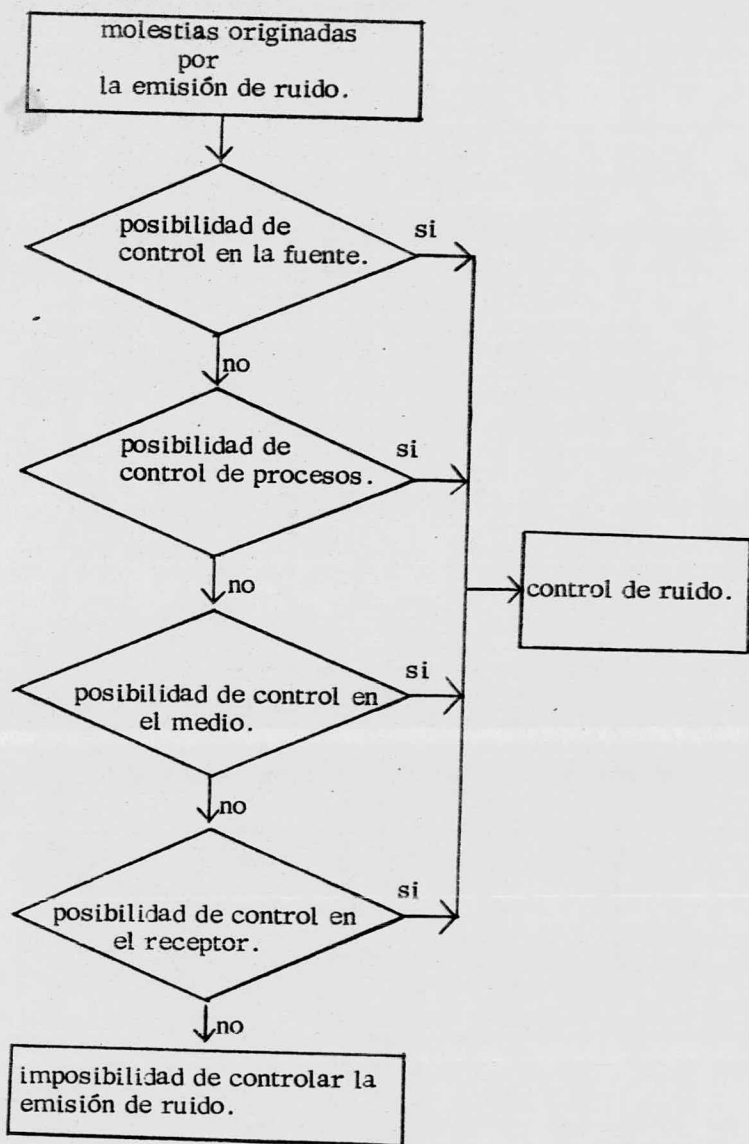


Fig. 4.3 UTILIZACION DE LOS METODOS DE CONTROL DE RUIDO.

4.3 CONTROL DE RUIDO EN EL MEDIO.

Como ya vimos anteriormente el medio es el único elemento que no es ni causa ni efecto dentro del fenómeno sonoro. La utilización del medio para controlar el ruido, dependerá del nivel mismo que la fuente esté emitiendo.

El control de ruido en el medio puede realizarse de las siguientes maneras:

- a) evitar la propagación acústica por medio del aislamiento.
- b) tratar de conseguir un máximo de pérdidas de la energía acústica por medio de la absorción.

Por aislamiento acústico se entiende a la acción de colocar una barrera que evite a la energía emitida por la fuente llegar al receptor. Esto puede realizarse de las siguientes maneras (ver Fig. 4.4).

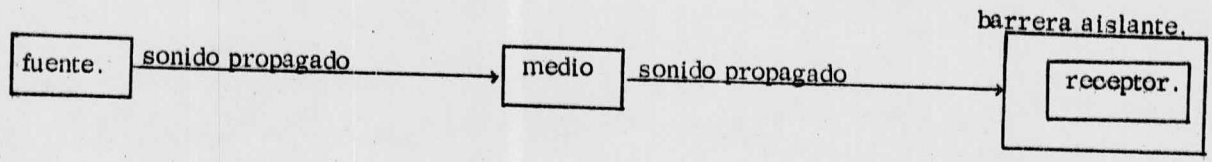
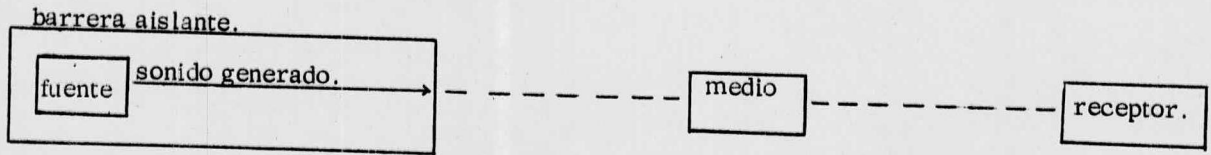


Fig. 4. 4 BARRERAS AISLANTES PARA CONTROLAR EL RUIDO EN EL MEDIO.

En el primer caso la barrera evita la propagación del sonido que genera la fuente.

En el segundo caso el objetivo de la barrera es evitar que el sonido generado por la fuente llegue al receptor.

Ambas barreras son elementos físicos que se colocan de tal forma que realmente separen los elementos que intervienen en el fenómeno sonoro.

El ruido al chocar con los confinamientos del lugar en donde se localiza la fuente, produce ruidos parásitos que se interpretan como nuevas fuentes colocadas sobre dichos confinamientos. Las reflexiones del sonido producen el efecto llamado reverberación que tiende a aumentar la intensidad del sonido dentro del recinto de trabajo.

Los tipos de barreras aislantes.

Las barreras aislantes pueden ser totales ó parciales. Las barreras totales se construyen de tal manera que produzcan un enclaustramiento de la fuente ó del receptor. Los enclaustramientos de la fuente son más difíciles y más costosos que los del receptor, ya que la intensidad acústica es mayor alrededor a la fuente que entorno al receptor.

Se aconseja el uso de las barreras parciales cuando la directividad del sonido de la fuente hacia el receptor es muy marcada y la trayectoria que sigue es por el aire, en este caso lo más indicado será la colocación de una barrera que obstaculice la trayectoria del sonido.

Las pérdidas por transmisión de los materiales que forman la barrera nos indican su efectividad.

La absorción en el medio.

Para evitar las reflexiones que produzcan fuentes parásitas (los confinamientos reflejantes) se colocan elementos que absorban energía acústica. La absorción se puede lograr de dos maneras que son las siguientes:

a) por medio de la absorción propia de los materiales.

b) por medio del uso de resonadores.

La absorción de los materiales está en función de la frecuencia que incide hacia los materiales, teniéndose que la absorción es pequeña en los materiales cuando la frecuencia es baja en cambio la absorción aumenta para frecuencias altas.

Se conocen como resonadores a las cavidades llenas de aire que permiten que se gaste la energía incidente al tratar de mover la masa del aire que se encuentra contenida en dichas cavidades. Los resonadores son eficientes para determinadas frecuencias y si se llega a presentar un ruido bastante complejo será necesaria la construcción de una batería de ellos para poder absorber las frecuencias más importantes.

Para construir los resonadores se deben cumplir ciertos requisitos debido a que la cavidad debe estar perfectamente cerrada en todas sus caras menos una, la cual deberá estar perforada con taladros de diáme

tro controlado, además el espesor de esta cara estará de acuerdo con las condiciones de trabajo del resonador.

Las cajas aislantes y las cabinas de trabajo.

Cuando se desea construir un enclaustramiento para las máquinas se construirá una caja aislante y para ello se deberá de tomar en cuenta una serie de requisitos que son los siguientes:

a) las máquinas que se desean cubrir deben de tener un control remoto para manipularse desde el exterior de la caja.

b) las cajas tendrán facilidad de acceso a los operarios para que se facilite su funcionamiento.

c) dichas cajas deberán tener ventanas de observación

d) las paredes de la caja estarán dispuestas de tal manera que no exista una reverberación alta.

e) deberán tener cierre hermético.

f) deben tener un sistema de ventilación que permita el escape de gases internos.

g) la caja aislante solo se debe construir cuando la máquina que se está cubriendo no genere gases ó materiales que reaccionen químicamente con los materiales de dicha caja.

h) se debe permitir el proceso industrial de tal forma que los materiales que entren a la máquina y los productos terminados no rompan el hermetismo de la construcción.

Si no se cumplen todas estas condiciones la construcción de la caja aislante será inadecuada. Las cajas que enclaustran fuentes son muy caras y se construirán sólo cuando la economía de la empresa lo permita y cuando no exista algún otro método apropiado de control de ruido.

En ocasiones también se construyen cajas aislantes de protección hacia los trabajadores. Dichas cajas aislantes se conocen como cabinas de trabajo y para su construcción se requieren las siguientes características:

a) las máquinas que dependen de los trabajadores que deben protegerse ,deben de tener control remoto para manipularse desde la cabina de trabajo.

b) la construcción de estas cabinas deberá ser de tal manera que tengan una completa y adecuada observación hacia el exterior.

c) deben tener confort para el trabajador.

Estos requisitos casi siempre son fáciles de lograr ,por lo que las cabinas de trabajo representan una gran utilidad para el control de ruido en la industria. Para evitar desajustes causados por las vibraciones de las máquinas se deben revisar constantemente nuestras cabinas de trabajo.

Debemos de poner cuidado especial con las puertas y ventanas de éstas cajas ,ya que son los puntos más débiles de la construcción. La eficiencia de las cajas se ve reducida por la pérdida por transmisión a través de las ventanas, debido a que los espesores de vidrio que se em-

plean, casi siempre no constituyen las características adecuadas de un buen aislante.

La utilización adecuada de las cajas aislantes y cabinas de trabajo.

No podemos decir de una manera general cual de los dos tipos que se utilizan frecuentemente nos reportaría mayores ventajas , ya que la posibilidad de uso de cada una de ellas depende de las condiciones de cada cual en el trabajo.

A continuación tenemos un diagrama de flujo que nos indica la forma de elegir adecuadamente el uso de las cajas aislantes, así como las cabinas de trabajo. Ver Fig. 4.5 .

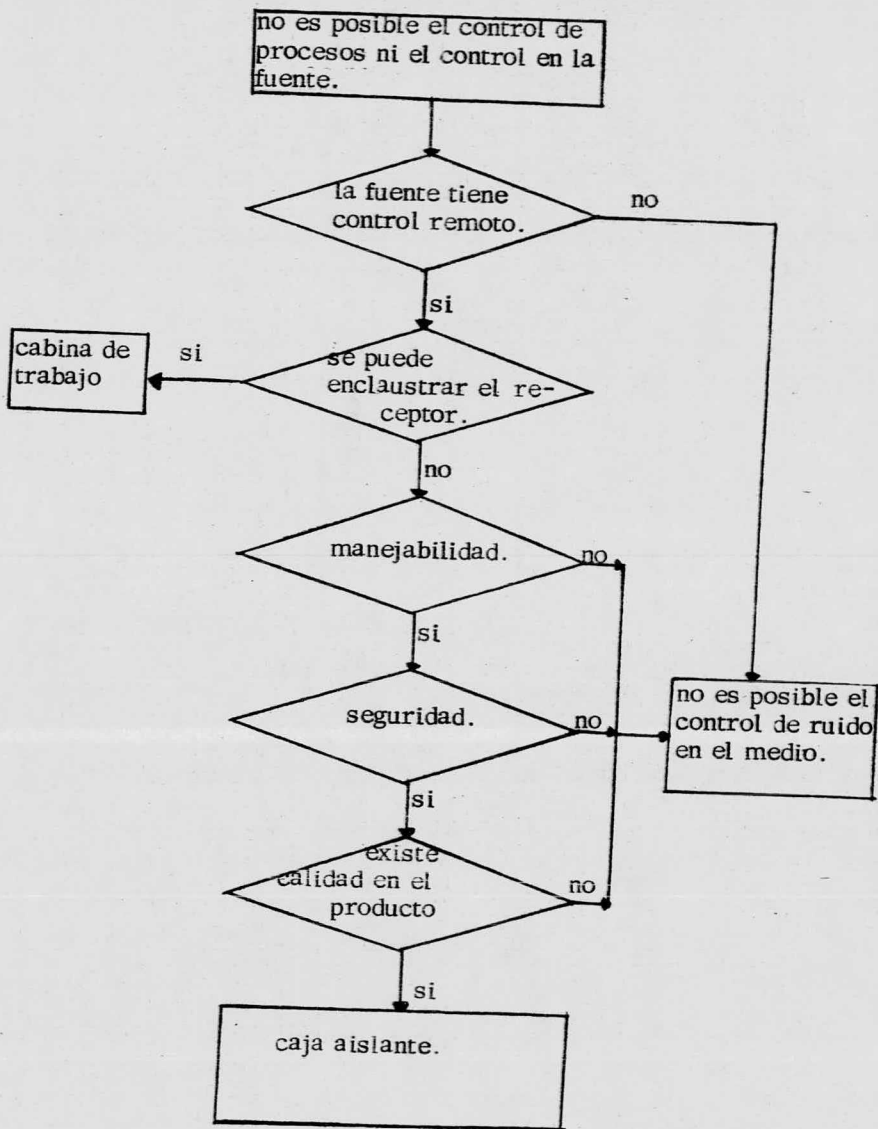


Fig. 4.5 DIAGRAMA DE FLUJO PARA ELEGIR EL USO DE LAS CAJAS AISLANTES Y CABINAS DE TRABAJO.

5 . T E C N I C A S D E C O N T R O L .

5.1 TECNICAS FUNDAMENTALES DE CONTROL DE RUIDO.

Una exposición de las técnicas básicas de control de ruido nos ayudará a conocer como puede reducirse el nivel de ruido en una comunidad .La figura 5.1 nos muestra a una máquina que produce ruido en un amplio rango de valores de frecuencia.



Fig. 5.1 UNA MAQUINA PRODUCIENDO RUIDO EN UN ALTO RANGO DE FRECUENCIAS.

El nivel de sonido observado (ver Fig. 5.1) dependerá de la separación de la fuente de sonido y el receptor , además de la situación que tengan las superficies reflejantes .

El simple incremento de la distancia entre el receptor y la fuente de ruido puede ser un método efectivo para la reducción del nivel de ruido recibido .

Una barrera de pared sencilla colocada entre la fuente de ruido y el receptor tiene una efectividad, como ya vimos anteriormente , que depende de la masa de la barrera, de las dimensiones físicas, de la distancia que tiene la fuente del receptor y la distancia que guardan ambos respecto a la barrera. Generalmente las altas frecuencias se ven reducidas en mayor escala que las bajas frecuencias, como ya vimos en los primeros capítulos. En la Fig. 5.2 se muestra una barrera que está colocada entre la fuente (máquina produciendo ruido) y el receptor (sonómetro).

En la Fig. 5.2 tenemos como receptor del ruido a un sonómetro de medición; sin embargo nosotros sabemos que en una industria, generalmente, quien recibe el ruido es un grupo de trabajadores ó algún tipo de equipo cuyas funciones sean afectadas .

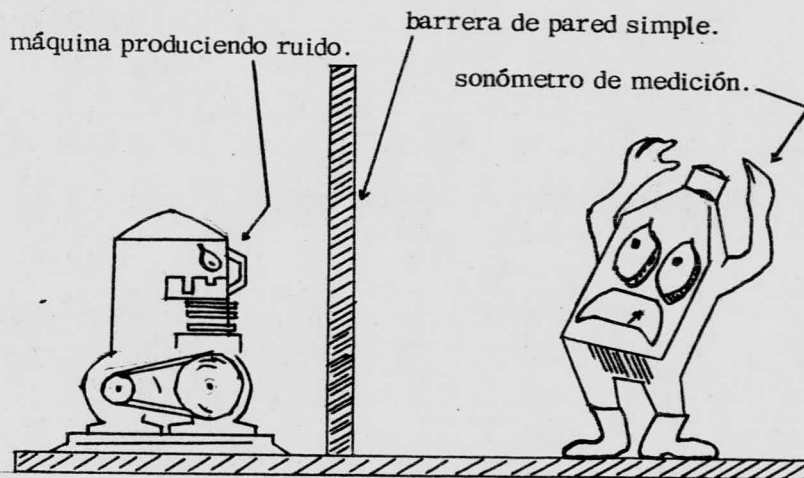


Fig. 5.2 UNA BARRERA DE PARED SIMPLE COLOCADA EN EL CAMINO DEL SONIDO, PRODUCE UNA CONSIDERABLE CAIDA EN LOS NIVELES DE RUIDO; LOS DE ALTA FRECUENCIA SON REDUCIDOS EN MAYOR ESCALA QUE LOS DE BAJA FRECUENCIA.

Al colocar una cubierta se debe tener cuidado de evitar formación de grietas que se forman en muchas ocasiones entre las juntas de las cubiertas y las paredes. Esto se puede apreciar en la Fig. 5.3 .

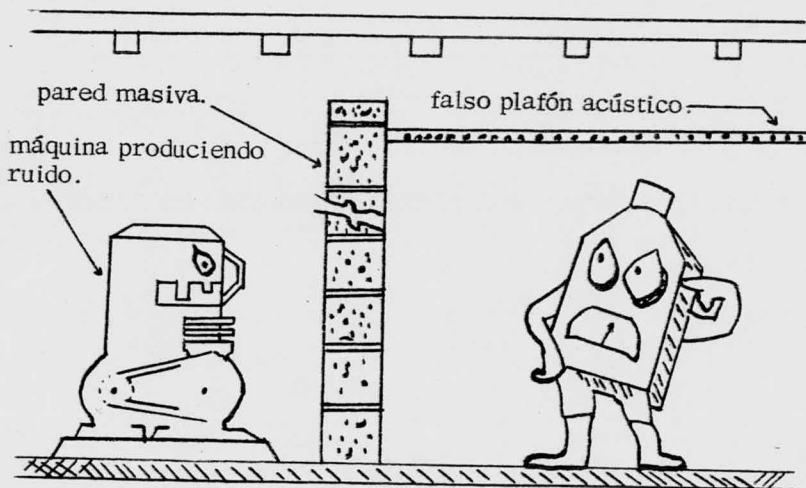


Fig. 5.3 UNA CUBIERTA ACUSTICA ES FRECUENTEMENTE UTILIZADA PARA REDUCIR EL SONIDO GENERADO DENTRO DE UN CUARTO, PERO EL AISLAMIENTO PUEDE SUFRIR UNA REDUCCION PARA SONIDOS DE FRECUENCIAS BAJAS CUANDO EXISTEN GRIETAS EN LA UNION DE LA CUBIERTA Y LA PARED.

Enclaustrando la fuente de ruido con paredes rígidas y masivas se obtiene como resultado una significativa reducción en el nivel de sonido observado. La reducción del nivel de ruido, como ya vimos, es proporcional a la masa y rigidez de las paredes del enclaustramiento. Esto se puede observar en la Fig. 5.4.

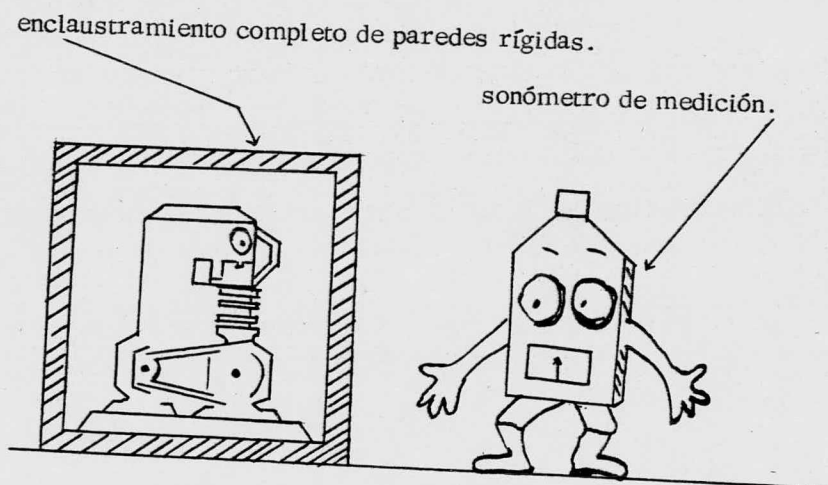


Fig. 5.4 UN ENCLAUSTRAMIENTO COMPLETO DE PAREDES RIGIDAS DA COMO RESULTADO UNA CONSIDERABLE REDUCCION EN EL NIVEL DE RUIDO.

En la práctica los problemas acústicos que se presentan más frecuentemente y de difícil solución son los del control del aislamiento, razón por la cual vamos a estudiar detalladamente este concepto. Posteriormente veremos de una forma general el concepto de absorción, así como sus principales características aplicables a la construcción para la solución de los problemas acústicos.

5.2 TECNICAS DE CONTROL DE RUIDO BASADAS EN EL AISLAMIENTO ACUSTICO.

Se entiende por aislamiento a la acción y efecto de separar alguna cosa de las demás.

Por aislamiento acústico entendemos a la acción y efecto de separar la fuente del receptor en el fenómeno sonoro.

Suponiendo que la energía emitida a través de un medio choca con un material cualquiera, este choque causa que la energía sufra cambios como los que se muestran en la Fig. 5.5.

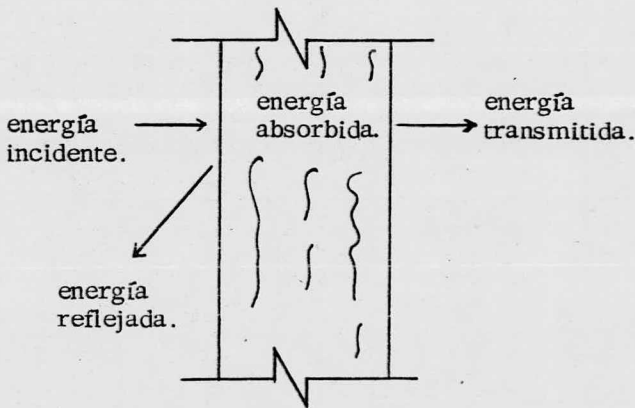


Fig. 5.5 CAMBIOS QUE SUFRE LA ENERGIA AL CHOCAR CON UNA PARED.

Una parte de la energía incidente al material es reflejada, otra parte es admitida en el seno del material y allí es absorbida, y otra parte logra salir del material ó sea se logra transmitir.

Es claro que la energía que sale de la fuente es superior a la que llega al receptor (por las pérdidas en el medio) por lo cual es mas fácil aislar al receptor que a la fuente. Aislando la fuente se impide la propágación, aislando el receptor se impide que se reciba dicha propágación.

La función del aislamiento acústico en los locales.

Con el aislamiento acústico se pretende proteger a los ocupantes:

-contra los ruidos aéreos procedentes del exterior ó de los locales vecinos.

-contra los ruidos de choques producidos por el equipo del edificio (ascensores, movimiento de maquinaria y materiales, etc).

Dentro del local son muchas las vías de posible comunicación , las mismas que debemos tener presentes para el control de ruido. De manera general citaremos las siguientes:

-paredes medianeras .

-paredes longitudinales ó techos comunes .

-ventanas y puertas .

-canalizaciones (ventilación, aire acondicionado, etc).

-estructuras .

-patios de recreo .

-cajas de ascensores .

Es necesario prever y controlar en la etapa de proyecto todos los posibles caminos que faciliten las transmisiones, para dar al local un nivel sonoro (nivel de presión sonora) propio de su función , teniendo en cuenta las posibles fuentes sonoras.

Para un adecuado control de ruido debemos tomar en cuenta:

-la fuente de ruido (su nivel sonoro)

-el aislamiento del local.

-la transmisión interior y exterior del local.

Si queremos atacar el problema de control de ruido de una forma adecuada, debemos conocer las siguientes características sobre los materiales:

a) un cuerpo vacío ó hueco no es un buen aislante acústico , ya que las características de aislamiento dependen principalmente de la masa del cuerpo.

b) al utilizar aberturas protegidas con doble vidrio y cámara de aire se puede producir resonancia*para ciertas frecuencias , disminuyendo incluso el aislamiento acústico (efecto tambor) .

c) los muros revestidos por materiales absorbentes (fibra de vidrio, fibras minerales, etc)son buenos aislantes térmicos, pero para la transmisión acústica se comportan como si estuvieran desnudas.

*Resonancia es el fenómeno que se produce cuando la frecuencia del sonido incidente sobre un cuerpo es igual a la frecuencia de vibración de dicho cuerpo en el punto de contacto.

d) en algunas ocasiones la presencia de un aislamiento térmico puede disminuir el aislamiento acústico, ya que se dan casos en los cuales con un revestimiento a base de fibra de vidrio se produce resonancia.

e) si se revisten las paredes con un material absorbente se reduce la reverberación en el interior del local, pero no la transmisión del sonido por las paredes del local. La ventaja de este tratamiento es la de reducir el nivel de ruido propio del local (ver Fig. 5.6).

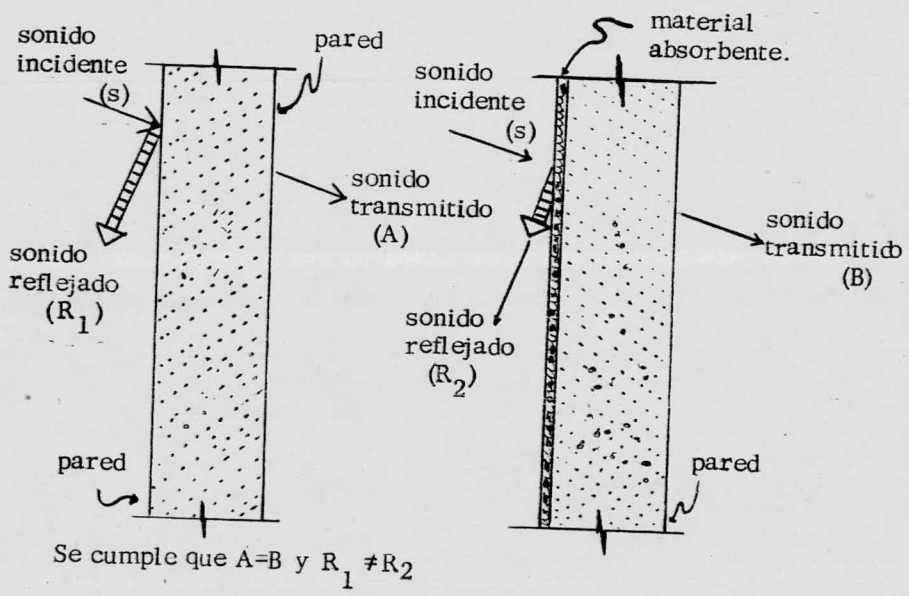
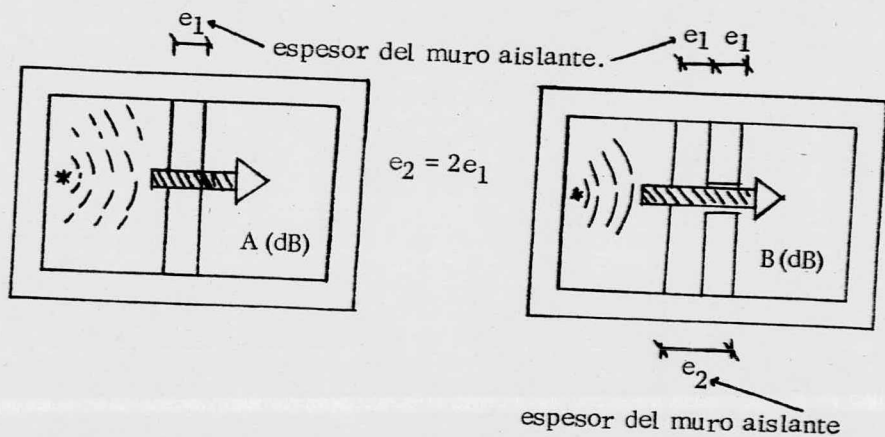


Fig. 5.6 EL REVESTIMIENTO DE LAS PAREDES CON MATERIAL ABSORBENTE.

f) lo más importante en un aislamiento es la continuidad del mismo y de poco nos serviría aumentar el espesor de un muro si una porción del mismo se deja en las mismas condiciones anteriores. Así mismo la existencia de grietas, fisuras y pequeñas aberturas hacen inoperante el cerramiento aislante más completo. Esto se puede apreciar por medio de la Fig. 5.7.



Se cumple que $A \approx B$

Fig. 5.7 UN CERRAMIENTO AISLANTE INOPERANTE.

g) en todo problema de aislamiento de ruido se deben considerar los niveles de ruido de fondo (nivel de ruido ajeno al generador) que existe en el local donde se percibe el ruido. Con niveles de fondo altos no resultan molestos los ruidos que pueden ser insoportables con un nivel de ruido de fondo bajo. Debemos tener en cuenta que los sentidos

humanos se habitúan y dejan de percibir ruidos de fondo de tipo continuo (si su nivel no es muy fuerte), aunque a largo plazo estos ruidos continuos pueden llegar a causar molestias psicológicas inconscientes.

Un buen aislante será aquel que detenga los sonidos cualesquiera que sean sus frecuencias, lo cual no significa que debe presentar la misma insonoridad (imposibilidad de realización del fenómeno sonoro) para todas ellas.

Además un material aislante deberá tener las cualidades acústicas normalmente requeridas por la técnica de la construcción, como serían:

- resistencia a la fisuración.
- flexibilidad.
- elasticidad.

Generalmente los objetos y utensilios domésticos como lavadoras, máquinas de coser, los motores de ascensor, de ventiladores ó quemadores, los diversos instrumentos utilizados en las viviendas, equipo de computación, etc. que descansan ó han sido fijados al piso, transmiten por sus puntos de apoyo diferentes fuerzas y lo ponen en vibración. Estas fuerzas no siempre son verticales, por lo general son inclinadas y pueden incluso provocar pares. Sin embargo, las fuerzas verticales son las que producen mayor ruido, debido a que forman ondas flexionantes en combinación con las ondas que se producen superficialmente ó mejor conocidas como ondas de Rayleigh.

Distribución interior de los locales.

En muchas ocasiones por razones de funcionamiento la distribución interior de los locales no resulta adecuada a las exigencias (de la acústica) relacionadas con el aislamiento. Debido a esto son necesarias soluciones constructivas costosas, que con un planteo desde el punto de vista acústico (previo), podrían haber sido simplificadas por medio de una distribución adecuada de los locales.

Para visualizar el problema de la distribución adecuada de los locales es necesario situar en función de las actividades de los locales, tres principales tipos de espacios que serían los siguientes:

- categoría R: espacios ruidosos.
- categoría M: espacios no ruidosos, pero que no requieren silencio.
- categoría S: espacios que requieren silencio (en ocasiones estos espacios requieren ser ruidosos y los consideraremos categoría Sr).

Por lo general los espacios de categoría "M" (vestidores, armarios, archivos, almacenes, etc) se colocan como barrera entre los de categoría S y los R. Esto se puede visualizar mejor por medio de la siguiente figura:



Fig. 5.8 LOS ESPACIOS DE CATEGORIA "M" SE COLOCAN COMO BARRERA ENTRE LOS DE CATEGORIAS "S" Y "R" .

Otra forma sencilla de controlar el ruido generado en los locales consiste en la agrupación de los locales con categoría R (locales ruidosos como los baños, cocinas, etc) junto a una pared medianera en la que se colocan algunas fuentes de ruido como serían conducciones de tipo sanitario.

A continuación se presenta una clasificación de los locales de más uso según las categorías mencionadas:

Locales muy ruidosos (60 - 90 dB (A))

- salas de máquinas.
- escaleras públicas.
- garages.
- locales de recreo.

- pasillos ruidosos.

Locales ruidosos (40 - 60 dB(A)).

- cocina.
- local de aseo.
- pasillos.
- salas de mecanografía.

Locales silenciosos que no requieren silencio.

- vestidores.
- archivos.
- almacenes de poco uso.

Locales silenciosos que requieren silencio.

- dormitorios.
- salas de estancia.
- bibliotecas.

Locales ruidosos que requieren silencio.

- salas de juntas.
- salas de estancia con televisión.
- comedores.

Locales muy ruidosos que requieren silencio.

- salas de música.

Sistemas constructivos.

El problema de control de ruido termina finalmente por medio del control de las transmisiones de ruido a través de elementos constructivos.

Como norma general debe tenerse en cuenta que el aislamiento necesario en un local dependerá en parte del nivel de ruido existente dentro del local, así como del nivel de ruido del exterior (ruido de fondo), por lo que se considera como suficiente para anular un ruido procedente del exterior; el reducir su nivel por debajo del nivel de fondo existente.

En las páginas siguientes se estudiarán los elementos más usuales con las soluciones concretas para mejorar el aislamiento de cada uno de ellos.

Paramentos verticales.

El mayor problema que se presenta para el aislamiento, es la necesidad de una gran masa (ley de masas) para que sea un sistema constructivo aislante.

Su índice de aislamiento es la relación entre la energía acústica incidente y la energía acústica transmitida. Este índice de aislamiento nos da las características de la pared ó elemento separador en cuanto a su

capacidad aislante.

Muros y tabiques simples.

Son los que están compuestos por materiales homogéneos ó heterogéneos formando en conjunto un cuerpo sólido (muros de ladrillo, paneles sandwich, etc).

Muros y tabiques compuestos.

Aumentando la masa de un muro simple podemos aumentar (según la ley de masas) el aislamiento acústico.

Si de otra forma se construye otro muro igual al primero y separado del mismo, el aislamiento total será teóricamente igual a la suma de los aislamientos de cada pared simple. En la práctica la separación entre ambos muros deberá ser grande para que trabajen independientemente, el aumento del aislamiento acústico empieza a ser notable a partir de una distancia aproximada de 10 cm, y 5 cm cuando existe relleno de la cámara con un material absorbente como se observa en las Figs. 5.9 y 5.10.

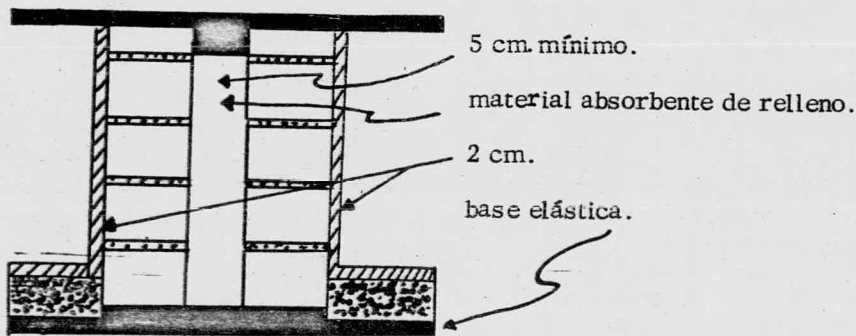


Fig. 5.9 UN DOBLE MURO Y SUS MATERIALES COMPONENTES.

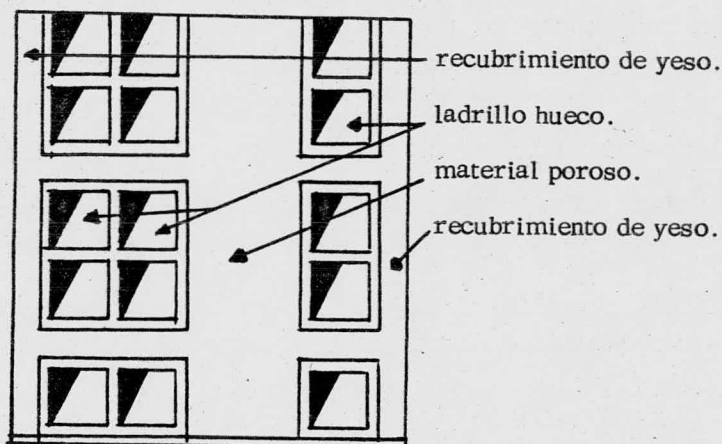


Fig. 5.10 UN MURO COMPUESTO Y SUS MATERIALES COMPONENTES.

Ventanas.

Las ventanas tienen gran importancia como factor de aislamiento.

Para analizar las ventanas en cuanto al paso del ruido, debemos de tomar en cuenta que presenta varios caminos posibles para el paso de dicho elemento y que la solución para uno solo de ellos no mejorará en realidad el aislamiento de la ventana.

El primer punto que debemos tomar en cuenta son las juntas para evitar que se produzcan vibraciones futuras de los vidrios. Cuando la ventana es fija se prefiere usar juntas de plástico protegidas por medio de baquetillas (ver Fig. 5.11) .

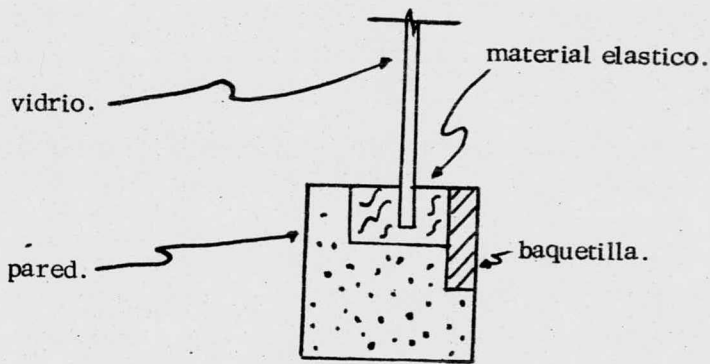


Fig. 5.11 VENTANA FIJA PROVISTA DE BAQUETILLA.

Otro punto que debemos considerar son los marcos en los cuales la falta de rigidez facilita la producción y transmisión de las vibraciones.

El tercer punto de paso del ruido son los vidrios, ya que siguen la ley de masas y a medida que el vidrio es más grueso y pesado se consigue un mayor aislamiento,

Para conseguir mejores aislamientos se sigue el mismo principio de las paredes y colocando un doble vidrio de diferentes espesores obtenemos un aislamiento mayor. El aislamiento aumenta al aumentar la separación entre los cristales.

Puertas.

Son de gran importancia en el control acústico para librar a los

ruidos interiores. Normalmente los puntos mas débiles en el aislamiento acústico entre los locales son las puertas y su existencia hace inútil cualquier mejora de la calidad aislante de los muros de separación.

La puerta es un elemento ligero y discontinuo en un paramento.

Además las puertas son generadoras de ruidos producidos por su uso (ruidos de golpes y chirriar de bisagras).

El problema de las juntas puede resolverse mediante juntas elásticas similares a las mencionadas para las ventanas, que tendrán como función adjunta evitar la generación de ruidos al cerrarse. No deben de utilizarse topes de plástico discontinuos, que solo perjudican nuestro aislamiento al dejar abiertas las juntas.

Otro problema que se presenta es la junta inferior, que usualmente no permite el aislamiento de ruido si no coincide con un escalón que en la mayoría de las veces resulta incómodo en puertas interiores. Cualquier mejora del aislamiento de la puerta será inútil si no se soluciona este problema. Una solución de relativa eficacia es la de utilizar láminas elásticas que queden ajustadas al cerrar la puerta y una mejor solución aunque muy costosa es la de utilizar un tipo de elemento móvil que descienda y haga presión sobre una junta situada en el piso al cerrar nuestra puerta.

Las puertas normalmente son ligeras y siguiendo la ley de masas, al aumentar su peso siempre mejorará su poder de aislamiento. Para conseguir aislamientos mayores podrá recurrirse al empleo de puertas do-

bles aunque su manejo resulte incómodo.

Es conveniente el recalcar que según la ley de masas al aumentar el peso de una puerta siempre mejorará su capacidad aislante.

Cubiertas y techos.

En el comportamiento acústico de las cubiertas son de gran importancia dos factores que son los siguientes: la transmisión de los ruidos que se transmiten por el aire y la transmisión de los ruidos de golpes. Para que el aislamiento de una cubierta sea bueno debe controlar a los ruidos procedentes de los dos tipos de fuentes sonoras, por lo que nuestro problema resulta mas complejo que el de los muros que en principio tienen la finalidad de aislar los ruidos que se transmiten por el aire (ruidos aéreos).

A continuación tenemos los diferentes tipos de forjados que presentan las cubiertas y su repercusión en el aislamiento.

- Losas sin nervaduras: absorben poca energía de los ruidos aéreos y entran facilmente en vibración a frecuencias sonoras con poco amortiguamiento. Son muy notables los ruidos de golpes. Deben ser gruesas.

- Losas con nervaduras: absorben poca energía de los ruidos aéreos y entran facilmente en vibración. Su pequeño espesor las hace tener una menor capacidad aislante que las losas sin nervaduras (ya que estas son demasiado gruesas)

- Cubiertas huecas: sus problemas son similares a los de la losa de tipo nervado, pero aumentadas mediante la resonancia del interior de la bovedilla hueca.

- Mosaico y losas de recubrimiento: no son insonoros más que por su peso, cuanto mayor sea este mayor será el aislamiento conseguido a los ruidos aéreos por el conjunto de la cubierta. No amortiguan los ruidos de pasos.

- Alfombras: son buen revestimiento para el ruido de pasos y prácticamente inútiles para los aéreos debido a su escaso peso.

- Linóleos: los ruidos de pasos se escuchan relativamente apagados en mayor escala que los mosaicos y en menor escala que las alfombras.

Su escaso peso las convierte en inútiles para los ruidos aéreos.

Revestimientos de caucho: aíslan considerablemente los ruidos producidos por golpes, pero son poco aislantes para los ruidos aéreos.

A continuación tenemos una tabla de mejoras de aislamiento para los ruidos de pasos según el acabado de las cubiertas (ver Fig. 5.12) .

capa de 25 mm de madera triturada	23 dB(A)
mosaico de 8 mm	18 dB(A)
linóleo (de 3 mm)	10 dB(A)
linóleo (de 5 mm)	12 dB(A)
láminas vinílicas de 2 mm	11 dB(A)
capa asfáltica de 3 mm	2 dB(A)
paneles de fibra asfáltica de 12 mm	12 dB(A)
tapiz vinílico prensado y encolado de 1.6 mm	18 dB(A)
tapiz espeso	10 dB(A)
caucho de 15 mm sobre caucho celular de 6 mm	20 dB(A)
arena	10 dB(A)

Fig. 5.12 TABLA DE AISLAMIENTO A LOS RUIDOS DE PASOS SEGUN SEA EL ACABADO DE LAS CUBIERTAS.

Hasta aquí solo hemos considerado soluciones comúnmente aplicadas sin utilizar ningún tratamiento aislante especial.

A continuación estudiaremos soluciones concretas que pueden proporcionar un mejor aislamiento basándonos en el uso de paneles superpuestos para superar la ley de masas.

Aislamiento de las cubiertas.

Se logra por medio de la colocación de falsos plafones, de los cuales existen infinidad de tipos y sistemas, por lo general ligeros y por lo tanto poco aislantes aunque si pueden ser (algunas veces) eficaces absorbentes y reductores de la reverberación en el local inferior.

Para que un falso plafón sea aislante en mayor ó menor medida debe cumplir las siguientes condiciones:

- No poseer ningún contacto rígido con elementos estructurales (cubiertas, pared ó columnas). Esto se logra por medio de la colocación de suspensiones elásticas del mismo falso plafón (ver Fig. 5.13).
- Prever una cámara de aire con un espacio entre la cubierta y el plafón de 30 cms como mínimo.
- Colocar sobre el falso plafón un material absorbente para eliminar la reverberación en su interior.

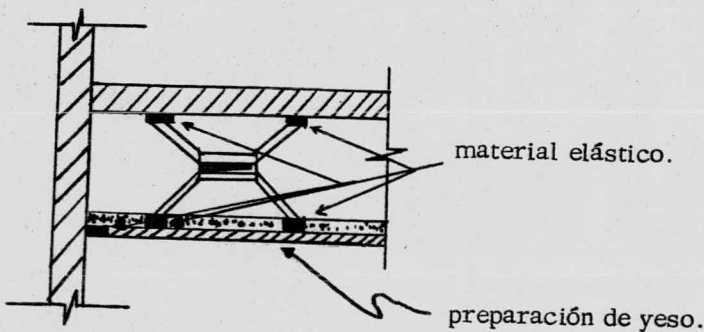


Fig. 5.13 UN FALSO PLAFON.

Pisos flotantes: consisten en la colocación de elementos aislantes y elásticos entre la cubierta y el piso. Generalmente deben de tener las siguientes características:

La losa del piso será rígida y apoyada continuamente sobre un material elástico.

Debe soportar sin agrietarse las sobrecargas recibidas.

El aislamiento para los ruidos de pasos podrá ser muy adecuado si cumplimos estas condiciones, así como al mismo tiempo se mejora el aislamiento para los ruidos aéreos gracias a la composición múltiple que tenga el piso.

Los soportes más aconsejables son los colchones de arena en grande espesor. En la Fig. 5.14 se muestra uno de los tipos de pisos flotantes que se utilizan en la construcción.

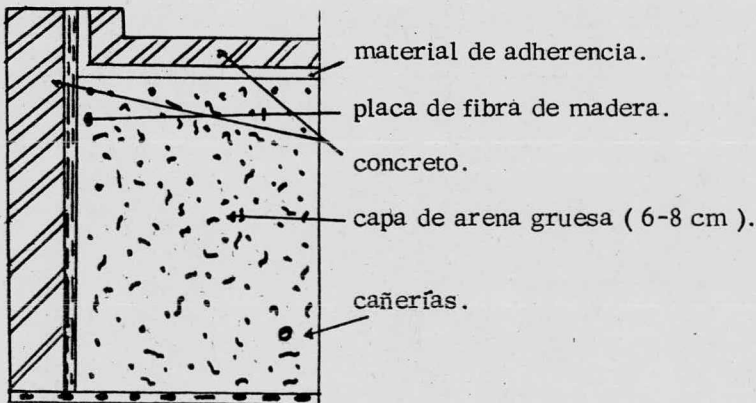


Fig. 5.14 UN PISO FLOTANTE.

Estructuras.

La estructura es un importante medio de transmisión de ruidos y de vibraciones.

La solución de este problema es muy difícil, por lo cual la precaución más importante será evitar estas vibraciones ó ruidos en su mismo origen, impidiendo el contacto directo entre el foco productor (maquinaria) con las partes rígidas del edificio.

Siendo de difícil realización este primer principio, se hacen necesarias otras soluciones más difíciles, tomando como base el principio de crear cortes y discontinuidades en el trayecto de la propagación sonora, introduciendo materiales con densidad y módulo de elasticidad distintos de los que poseen los empleados en la construcción (uno de los más usuales es el plomo). En la práctica estas soluciones se realizan en las siguientes formas:

Seccionando las columnas.

Aislando los apoyos.

Colocando dados antivibratorios entre elementos estructurales.

Para seccionar las columnas debe colocarse un elemento aislante en un corte realizado en las mismas; el problema radica en la resistencia a la compresión de estas columnas, que debiendo ser elevada obliga a crear formas especiales en los seccionamientos (formas de capitel troncocónicas) con el fin de aumentar la superficie de contacto.

El aislamiento de los apoyos del edificio es solución necesaria pa-

ra independizarlo de vibraciones exteriores. La solución de crear una zanja en los alrededores de los cimientos solo dará resultado en algunos casos, ya que frecuentemente las vibraciones se transmiten a través de las capas inferiores del subsuelo, que son las mas duras y rígidas. La solución adecuada consistirá en colocar un bloque de concreto que desde la parte superior de la zanja se prolongue por debajo de los cimientos, sin ningún contacto rígido.

La colocación de dados antivibratorios puede completar el seccionado de columnas, pero debe tenerse en cuenta en aplicar la colocación de estos dados en sectores trabajando a compresión y calculando siempre que el aislante tenga la suficiente resistencia a estos esfuerzos.

En las Figs. 5.15 a 5.20 se muestran los sistemas que más se utilizan para evitar propagaciones a través de las estructuras.

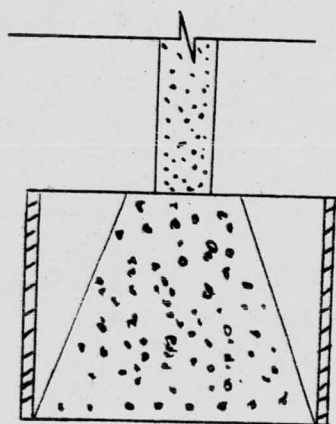


Fig. 5.15 PROTECCION DE LA CIMENTACION.

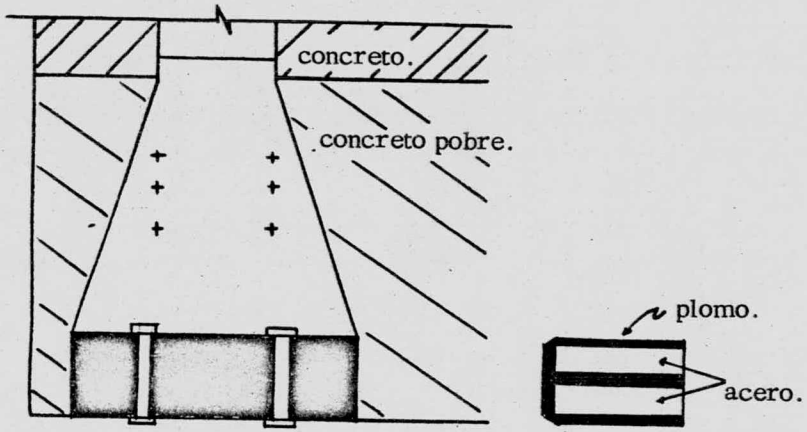


Fig. 5.16 APOYO PARA ESTRUCTURA METALICA Y DETALLE DE PLACA.

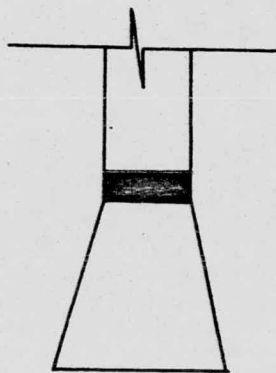


Fig. 5.17 CORTES EN ESTRUCTURA.

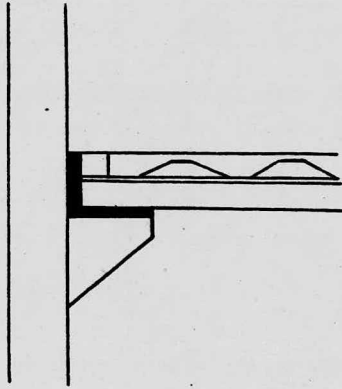


Fig. 5.18 APOYO PARA PISO.

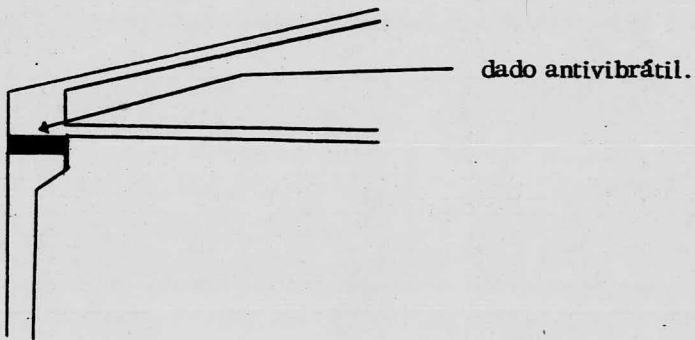


Fig. 5.19 COLOCACION DE UN DADO ANTIVIBRÁTIL.

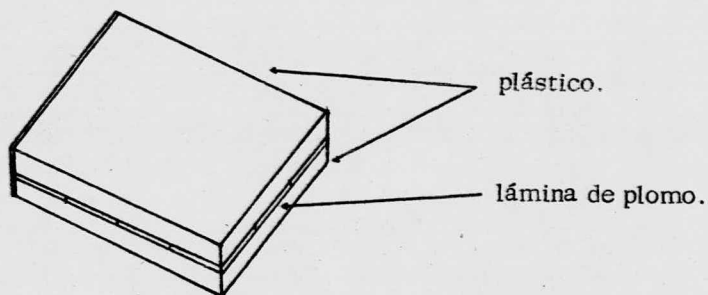


Fig. 5.20 DADO ANTIVIBRÁTIL.

Instalaciones.

Una importante fuente de producción de ruidos interiores dentro de los locales son las instalaciones, por lo cual vamos a estudiar las posibilidades de propagación dentro de los locales (por medio de las instalaciones).

Para controlar esta clase de ruido debemos tomar en cuenta a los siguientes conceptos:

- la naturaleza y tipo de los aparatos.
- la situación.
- la forma de fijación de estos aparatos.

Teniendo en cuenta la naturaleza y tipo de los aparatos debemos tratar que los aparatos sean insonoros por si mismos. Siempre resulta mas económico escoger un aparato de menor sonoridad que posteriormente impedir la propagación acústica causada.

Según la situación de las fuentes de ruido; debemos estudiar su ubicación dentro del local para alejarlas de las zonas más silenciosas, siempre se tratará que el local sea fácil de aislar y permita montajes antivibratorios de los aparatos que en el coloquemos.

Los apoyos de las máquinas deberán realizarse sobre bloques de concreto, que estarán independizados de la estructura del edificio por medio de juntas elásticas antivibrátiles. En la Fig. 5.21 se muestran los apoyos antivibrátiles más utilizados .

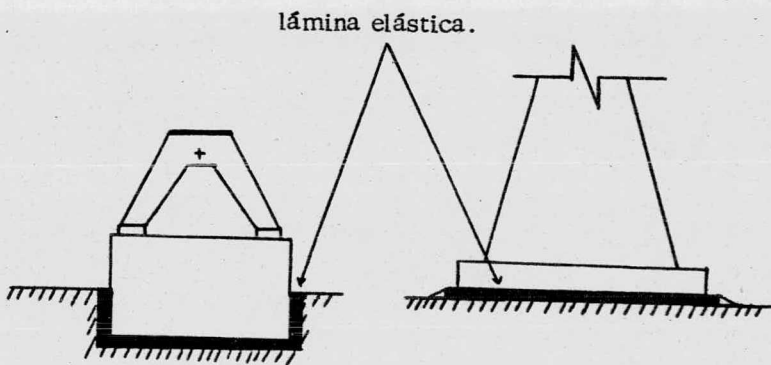


Fig. 5.21 APOYOS ANTIVIBRATILES MAS UTILIZADOS.

La fijación de aparatos y accesorios sanitarios es muy importante. Es recomendable usar montajes antivibratorios en inodoros, bañeras, etc. Además se deben utilizar dichos montajes en los accesorios de los objetos descritos anteriormente. En la Fig. 5.22 se muestra un montaje antivibratorio.

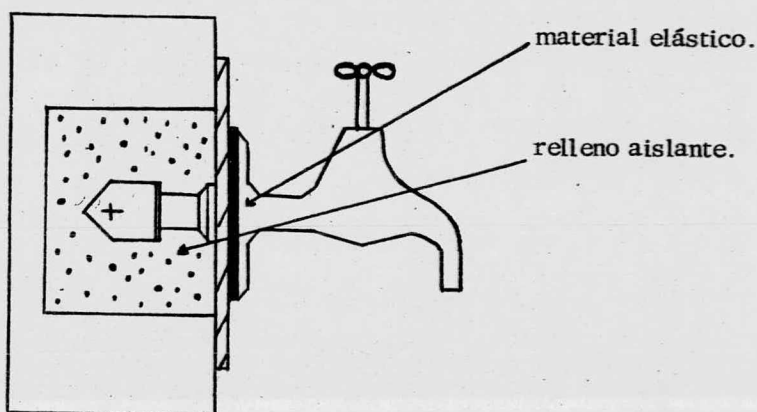


Fig. 5.22 MONTAJE ANTIVIBRATORIO.

Además se recomienda la colocación de montajes antivibratorios en los soportes de las tuberías (como se muestra en la Fig. 5.23).

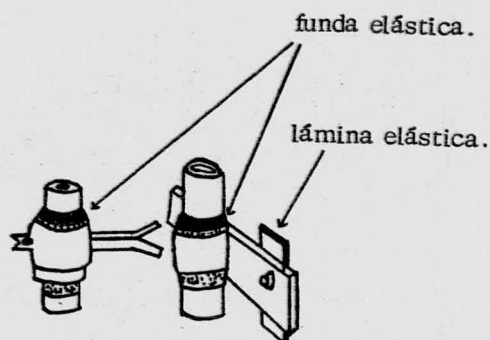


Fig. 5.23 SUJECION DE TUBERIAS.

Aislamiento de ruido por medio de la absorción.

La absorción es un término complejo que indica el comportamiento interno de un material frente a la presencia de energía acústica incidente. Es una forma de transformación energética, capaz de convertir las vibraciones mecánicas en energía térmica.

Por material absorbente acústico se conoce al material que tiene la propiedad de transformar en su seno la energía acústica en energía térmica.

Teóricamente un material absorbente con suficiente espesor es capaz de transformar toda la energía incidente en su seno, de tal manera que no haya reflexiones ni transmisión al otro lado. Visto de esta forma el coeficiente de absorción es el complemento a 1 del coeficiente de re-

flexión.

Es difícil discutir los efectos de absorción en situaciones prácticas y de cualquier manera una apreciación de cada uno de esos factores se podrá desarrollar por medio de ejemplos prácticos y por alguna consideración teórica.

Cualquier material puede tener un coeficiente de absorción " α " asignado para denotar la fracción de energía de sonido que es absorbida por el material cuando llega un sonido incidente. Por ejemplo un coeficiente de absorción $\alpha = 0.3$ nos indica que el 30% de la energía incidente es absorbida por el material. En términos de decibelios (dB) esta relación de energía debe ser:

$$10 \log (1-0.3) / 1 = -1.6 \text{ dB.}$$

Desafortunadamente el tratamiento de la absorción no es sencillo debido a que el coeficiente de absorción de cada material depende de la frecuencia del sonido incidente y del ángulo de incidencia de dicho sonido. De esta forma se obtienen las características de sonido para cada frecuencia, y las bandas (ámbito de valores) de altos niveles de frecuencia que nos interesen pueden ser tratadas separadamente, es decir un coeficiente de absorción aproximado puede ser determinado por los niveles de sonido generales. Los coeficientes de absorción se obtienen de una manera general por ruidos incidentes casuales y esos valores no pueden describir exactamente los coeficientes para los án-

gulos de incidencia específicos.

Los materiales absorbentes se pueden dividir en dos categorías diferentes que son las siguientes:

-Absorbentes pobres y reflectores eficientes:son materiales acústicamente duros y de superficies lisas,son materiales como la piedra, el ladrillo, el concreto, la madera, el yeso, etc.

-Absorbentes moderados y selectivos de frecuencia: en este grupo se encuentran materiales como los paneles delgados y los materiales porosos. Se debe hacer notar que los coeficientes de absorción de algunos materiales pueden ser cambiados considerablemente por medio de un tratamiento de barnizado sobre las superficies.

Vamos a presentar, en la Fig. 5.24, los coeficientes de absorción para los materiales que se utilizan en la construcción.

El coeficiente de absorción (α) de una superficie expuesta al sonido, es la relación de la intensidad de energía acústica perdida como energía térmica dentro del material a la intensidad de la energía acústica incidente.

Coeficientes de absorción para las diferentes frecuencias de trabajo de los materiales absorbentes.

Materiales	Frecuencias (Hz)				
	125	250	500	1000	2000
fibra de vidrio de 3 cm. sobre pared - - - - -	0.32	0.46	0.66	0.70	0.69
fibra de vidrio de 5 cm. sobre pared. - - - - -	0.38	0.63	0.78	0.87	0.83
capa de goma de 5 mm. -	0.04	0.04	0.08	0.12	0.03
entarimado de madera. -	0.09	0.09	0.08	0.09	0.10
ladrillo sin pintar - - - -	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05
concreto sin pintar - - - -	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
concreto pintado - - - - -	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
tela de algodón lisa, pega- da a la pared - - - - -	0.05	0.08	0.12	0.22	0.32
tela fruncida a 2 cm. de la pared - - - - -	0.05	0.22	0.40	0.54	0.52
terciopelo liso - - - - -	0.05	0.12	0.35	0.45	0.38
terciopelo fruncido - - - -	0.14	0.35	0.55	0.72	0.70
corcho en general - - - - -	0.12	0.27	0.70	0.80	0.72
yeso sobre pared de ladri- llo - - - - -	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04
papel de yeso perforado con fibra de vidrio interior - -	0.40	0.60	0.80	0.60	0.60
mármol - - - - -	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03

Fig. 5.24 COEFICIENTES DE ABSORCION.

6 . R E C O M E N D A C I O N E S Y C O N C L U S I O - N E S .

Para lograr un buen diseño acústico de los locales y el control del ruido industrial es conveniente emplear la combinación de las técnicas de control siguientes: aislamiento, absorción y resonadores.

Las paredes divisorias, dada su importancia, deben seleccionarse con gran cuidado para obtener una protección adecuada contra el ruido transmitido a través del aire.

Es importante evitar las transmisiones indirectas del sonido por las paredes laterales de las naves industriales para lograr el mejor aislamiento acústico. Si no se toman las precauciones necesarias para evitar estas transmisiones, el aislamiento resultará inadecuado.

Es indispensable que exista el mejor aislamiento posible entre los locales de una misma industria para que sus ocupantes se dediquen a sus actividades sin molestarsen mutuamente.

Se considera como ruido cualquier sonido desagradable que cause molestias hacia las personas interfiriendo en sus actividades de trabajo, descanso, diversión, durante el sueño ó en cualquiera de sus actividades de la vida cotidiana.

La transmisión del ruido producido por un generador puede llevarse a cabo a través del aire y de la estructura de la construcción.

El receptor de ruido puede ser una persona, un grupo ó una comunidad, así como algún tipo de equipo cuyas funciones sean afectadas.

El control de ruido es la técnica que obtiene un ambiente aceptable de ruido para el receptor, concordando con funcionalidad y economía.

El ruido es un problema de importancia muy grande en la sociedad moderna, debido a que afecta la capacidad del hombre de comunicarse oralmente con su prójimo, además afecta la conducta y produce daños permanentes en el aparato auditivo, ó simplemente porque el ruido es molesto.

El control de ruido desde el punto de vista económico, médico, así como legal ha llegado a ser enormemente importante debido a que muchas de las máquinas construidas con propósitos industriales ó de transporte van acompañadas de ruido.

Los problemas acústicos que se presentan con mayor frecuencia son el control de ruido por medio del aislamiento y el control de ruido a base de la absorción.

Para el control de ruido por medio del aislamiento, los principios de caracter físico que se deben tomar en cuenta son la ley de masas y la ley de frecuencias.

Para un adecuado control de ruido debemos tomar en cuenta el nivel sonoro de la fuente de ruido, el aislamiento del local y la transmisión que se recibe en el exterior del local de la industria.

Por medio de un estudio acústico previo de la distribución interior de los locales industriales, se hacen innecesarias una gran cantidad de las soluciones constructivas tan costosas que se utilizan frecuentemente en la industria.

Es necesario seguir las recomendaciones de tipo industrial para que podamos dotar al trabajador de una protección adecuada.

El problema de control de ruido en el medio termina controlando las transmisiones de ruido a través de elementos constructivos.

Para que una técnica de control de ruido sea eficiente es necesario que esté adecuada a la fuente de tal manera que impida los efectos negativos sin modificar los efectos positivos.

BIBLIOGRAFIA .

Cook Richard K. and Charzanowsk Peter. "Transmission of Air-Borne Noise through Wall and Floors" .Handbook of Noise Control. Editado por Harris Cyril M. , McGraw-Hill, New York, 1957.

Crede Charles E. 'Principles of Vibration Control' Handbook of Noise control . Editado por Harris Cyril M. , McGraw-Hill, New York, 1957.

Harris Cyril M. "Vibration Isolation" . Handbook of Noise Control . , McGraw-Hill, New York, 1957.

Groenewold Federico. Manual sobre ruido industrial y su control . , C. I. A. T. Reg. 167/SH-47, Lima Perú, 1975.

Solución de Problemas de la Contaminación Ambiental por Ruido . , Inplinsa Gopa, México D. F. , 1974.

Hamme Richard N. "Vibration Damping" . Handbook of Noise Control . , Editado por Harris Cyril M. , McGraw-Hill, New York, 1957.

Ingerslev Fritz and Harris Cyril M. "Control of Solid-Borne Noise in Buildings". Handbook of Noise Control. Editado por Harris Cyril M., McGraw-Hill, New York, 1957.

Jimenez García Luis Lorenzo. Aislamiento en la Construcción Para controlar la energía acústica. Tesis Profesional U.N.A.M., México, 1980.

Paul N. Cheremisinof and Peter P. Cheremisinof. Industrial Noise Control Handbook. , Ann Arbor Science, Michigan, U.S., 1970.

P.L. Michael and W. T. Achor. Community Noise Fundamentals: a Training Manual. Publicado por el Laboratorio de Acústica Ambiental de la Universidad de Pennsylvania U.S., 1979.

P. Martins da Silva. Acústica de Edificios. Publicado por el Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil M.H.O.P., Lisboa Portugal, 1978.

Rafael Serra Florensa y Fco. de P. Labastida Azemar. Control Acústico en los edificios. Publicado por el Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña y Baleares., Barcelona España, 1974.

Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. Normas Oficiales Mexicanas México D.F.

-NOM C-102 "Medición en Campo del Nivel de Presión Acústica ó del Nivel Sonoro en el Ambiente de un Claustro.

-NOM C-142 "Medición en Campo del Tiempo de Reverberación en Claustros".

-NOM C-143 "Determinación de la Absorción Acústica en Claustros a partir de Mediciones en Campo".

-NOM C-171 "Determinación de la Pérdida por Transmisión y de la Reducción Acústica por Sonidos Aéreos en Elementos de la Construcción".

-NOM C-172 "Determinación del Nivel de Presión Acústica Causado por Impacto Mecánico en Elementos de la Construcción a partir de Mediciones en Campo".

-NOM AA-43 "Determinación del Nivel Sonoro Emitido por Fuentes Fijas".

Secretaría de Salubridad y Asistencia. Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental Originada por la Emisión de Ruidos. México D.F., 1976.