

01. ACUSTICA FISICA (primera parte)

presentación preparada por:
Arq. Ricardo Estellés Díaz
diagramación de impresión:
Bach. Alejandro Fernández Rodeiro

2007

ACONDICIONAMIENTO ACUSTICO**TEMAS TEORICOS****ACUSTICA FISICA**
(primera parte)**1.1_ Definición**

Se define la acústica como la rama de la ciencia, parte de la física, que se ocupa de los fenómenos sonoros perceptibles por el oído humano.

1.2_ Fenómeno sonoro

Los objetos vibrantes tales como la cuerda de un instrumento musical excitada, un diapasón, el vidrio de una ventana expuesto al efecto de tránsito intenso, la membrana de un altavoz, manifiesta la existencia del sonido.

La acústica física es la parte de la ciencia física que estudia los fenómenos de vibración considerando su origen, su propagación y sus efectos.

Cada vez que una perturbación aislada o periódica exista en el aire ambiente y alcance el oído, (dentro de ciertos límites) se percibe un sonido.

Las vibraciones u oscilaciones se producen en objetos que llamamos fuentes sonoras, en general cualquier objeto o dispositivo que funciona produce vibraciones susceptibles de ser percibidas por el oído.

Para que este fenómeno suceda es necesario que exista además un medio material que permita su propagación (en el vacío no se produce el fenómeno de propagación).

Por ejemplo el Sol es una fuente de energía equivalente a billones de explosiones atómicas, sin embargo no percibimos sensación de sonido proveniente del mismo, porque entre él y la Tierra no existe un medio material.

Newton estudio y determinó la importancia de la elasticidad en la propagación del fenómeno sonoro.

1.3_ Velocidad de propagación

La transmisión del sonido no es instantánea, existe un retraso de la percepción del fenómeno en función de la distancia.

A mayor distancia mayor retardo, (se visualiza primero el relámpago y luego se percibe el trueno), esto determina que la velocidad de propagación es finita.

La primera medición se realizó mediante el disparo de un cañón situado en una elevación del terreno, al dispararse éste, desde un lugar de distancia conocida se midió la diferencia de tiempo entre la señal visual (luz) y la señal auditiva (sonido).

$$c = 331,4 \sqrt{(T/273)} = 345\text{m/s} \quad (1.1)$$

donde:

c = velocidad de propagación del sonido en metros por segundo

T = temperatura absoluta en grados Kelvin

1.4_ Tono

Existen distintos tipos de sonidos, una posible distinción es la que realizamos entre graves, medios, agudos; esa característica del sonido la llamamos tono o altura del sonido y se asocia a las características musicales del mismo.

La velocidad de propagación (c) es independiente del tono o altura del sonido considerado.

1.5_ Difracción del sonido

Al propagarse el sonido en un medio como el aire, no se producen zonas de sombra bien definidas, como en el caso de la luz.

Por ejemplo: el uso de la bocina al cruzar una calle, permite que algún observador que no puede ver el vehículo que emite el sonido pueda sin embargo escucharlo y fijar aproximadamente su posición.

Podemos decir que el sonido “dobla” la esquina, la luz no, por lo tanto es el sonido más que las luces quien permite percibir la presencia de un vehículo.

Esto es debido a la notoria diferencia entre la relación entre el tamaño de los objetos u obstáculos y las longitudes de onda de la luz y el sonido

1.6_ Características físicas

Para tratar de comprender el fenómeno acústico y sus principales características físicas recurriremos al símil del tubo y el pistón.

Consideremos un tubo lleno de aire y en uno de sus extremos un pistón rígido con movimiento alternativo, según lo expresado en el siguiente gráfico:



Las moléculas del gas (aire) se encuentran inicialmente a presión.

Al avanzar el pistón se comprimen las moléculas más próximas a él, este aumento de presión en la zona próxima al pistón se tiende a equilibrar creando un frente de presión que avanza a lo largo del tubo; cuando el pistón se retira se crea una zona de depresión o rarefacción que se desplaza en el mismo sentido de la de presión.

Ambas zonas avanzan con igual velocidad de propagación (c) del fenómeno.

Lo que se desplaza es la perturbación (onda) o variación de presión, no la masa de aire del tubo.

1.7_ Período

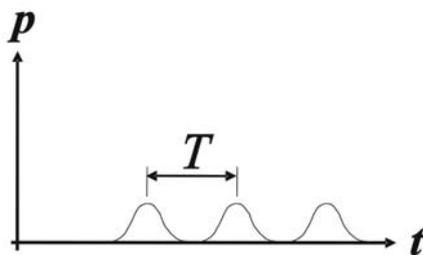
Se llama período (T) al tiempo que tarda la partícula en volver a su posición y dirección de velocidad inicial, siendo el proceso que se desarrolla en un período lo que denominamos ciclo.

$$T = \frac{1}{f} \quad (1.2)$$

donde:

T = periodo en segundos

f = frecuencia en Hz



1.8_ Frecuencia

La forma de propagación de una onda sonora constituye un fenómeno periódico cuya frecuencia (f) se define a partir del número de veces que dicho fenómeno se repite en una unidad de tiempo, es decir el número de ciclos por unidad de tiempo.

1.9_ Onda

Los sonidos más comunes están constituidos por perturbaciones repetitivas a intervalos regulares de tiempo, a las que llamamos ondas.

La onda es una perturbación repetida en el tiempo, es decir es un fenómeno repetitivo, que transporta energía de un punto del espacio a otro, sin desplazamiento neto de materia.

1.10_ Longitud de onda

La distancia entre dos compresiones o depresiones máximas consecutivas del medio a través del cual se propaga la onda es lo que llamamos longitud de onda y se representa frecuentemente con el símbolo λ , siendo su valor el que surge de aplicar la siguiente expresión:

$$\lambda = c \cdot T \quad (1.3)$$

donde:

λ = longitud de onda en metros

c = velocidad de propagación del sonido en m/seg

T = período en segundos

siendo además:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.4)$$

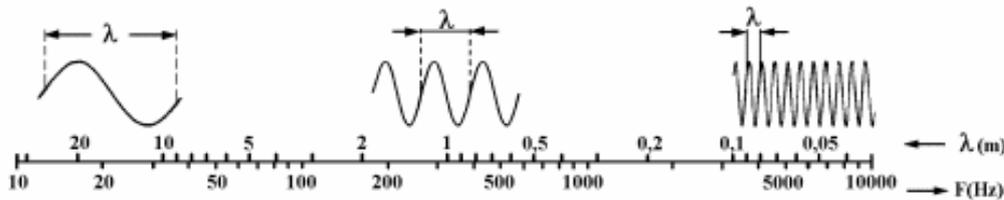
donde:

λ = longitud de onda en metros

c = velocidad de propagación del sonido en m/seg

f = frecuencia en Hz

Los sonidos graves tienen longitudes de onda grandes mientras los sonidos agudos tienen longitudes de onda pequeñas.



La longitud de onda del sonido tiene importancia en relación con los obstáculos. Si la longitud de onda es mucho mayor que un obstáculo el sonido no se ve afectado, pero si la misma es mucho menor que el obstáculo, el sonido puede desviarse y/o atenuarse. Un sonido con longitud de onda $\lambda = 2,76$ m no se altera por la presencia de una persona frente al parlante, mientras un sonido cuya longitud de onda $\lambda = 13,8$ cm si lo hace.

1.11_ Ondas progresivas y ondas estacionarias

Se llama onda progresiva a las que van avanzando progresivamente, estando en fase todos los puntos separados una distancia igual a la longitud de onda (λ)

Cuando se tienen dos ondas de igual frecuencia desplazándose en la misma dirección pero sentido contrario, se genera una onda estacionaria con puntos (partículas) que no se mueven y otros que incrementan su movimiento.

Se denomina vientre al intervalo donde la amplitud resulta variable, siendo los nodos aquellos puntos fijos de amplitud nula

1.12_ Impedancia acústica

Llamamos impedancia acústica de un medio a la relación que existe entre la presión sonora y el vector velocidad de una partícula dada.

Al tratarse de dos magnitudes vectoriales la relación es compleja.

Cuando se trata de una onda plana y progresiva la parte real se llama impedancia característica y es un parámetro que caracteriza al medio.

$$Z_{ci} = \rho \times c_i \quad (1.5)$$

donde:

Z_{ci} = impedancia característica del medio i ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{seg}$)

ρ_i = densidad del medio i

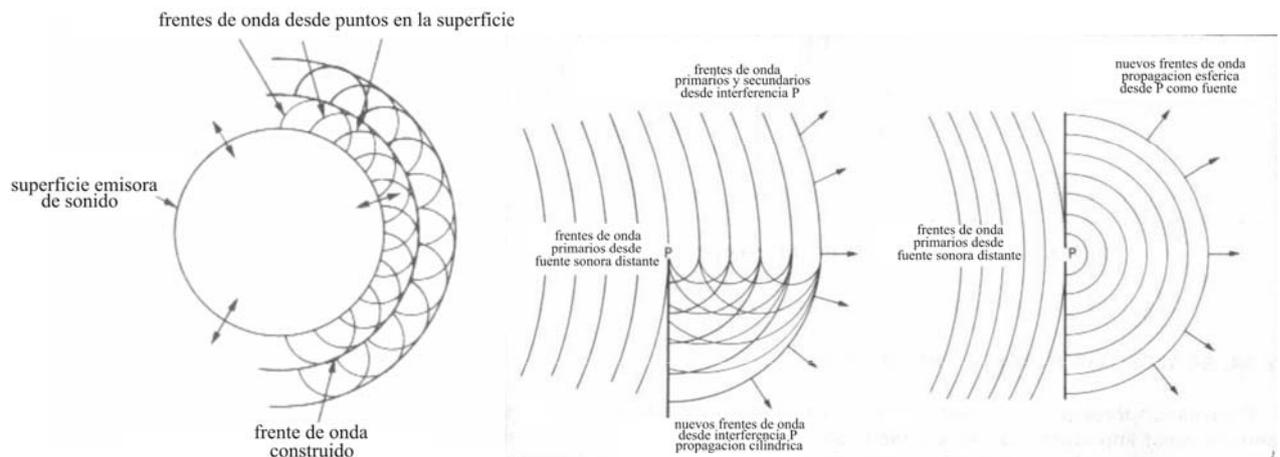
c_i = velocidad de propagación del medio i

1.13_ Principio de Huygen

En la propagación de sonido (movimiento ondulatorio) cada partícula del frente sonoro o de onda se comporta como una fuente sonora secundaria.

La composición de estos nuevos frentes de onda nos da la nueva ubicación del frente de onda transmitido en cierto período de tiempo.

En la figura se aprecia como se reconstruye el frente de onda esférico mediante la aplicación de este principio.



1.14_ Propagación en diferentes medios

En el aire las ondas sonoras se desplazan predominantemente en la misma dirección del movimiento de las partículas (onda longitudinal), siendo su velocidad constante en todas las direcciones.

En los líquidos la onda es predominantemente transversal, a pesar de existir una componente longitudinal de menor importancia, el movimiento de la partícula es elíptico.

En los sólidos las moléculas están muy próximas por lo que las fuerzas de cohesión son muy superiores, dependiendo de cada material el grado de libertad de movimiento de las mismas

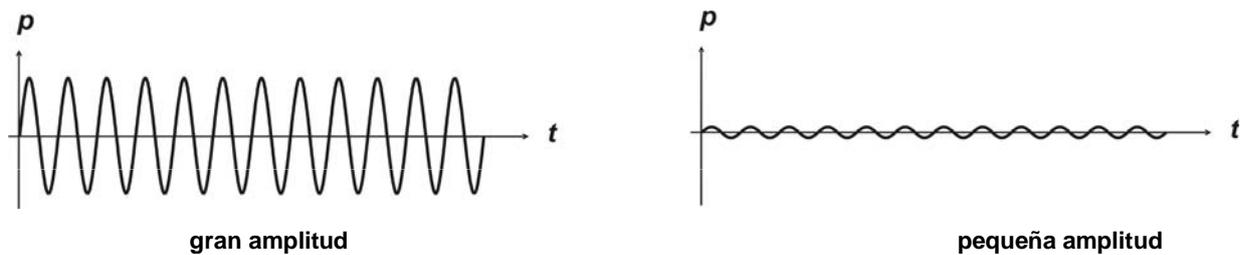
Esto hace que la perturbación inicial instantánea se prolongue a otras partículas por choque y deformación de los vínculos cohesivos, produciendo vibraciones en múltiples direcciones que dan lugar a ondas transversales, longitudinales y de flexión.

En los sólidos a mayor elasticidad y menor densidad del mismo mayor es la velocidad de propagación.

1.15_ Sistemas osciladores o vibradores

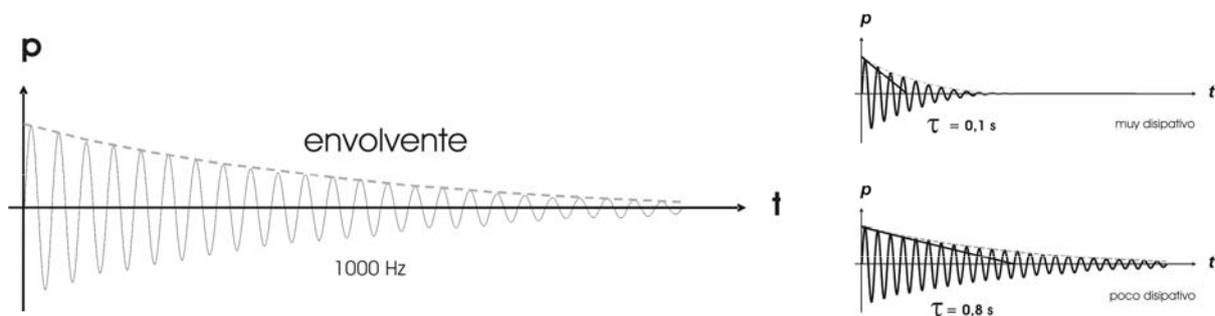
Las perturbaciones repetitivas se denominan oscilaciones o vibraciones y los sistemas físicos capaces de oscilar o vibrar se llaman osciladores o vibradores (por ej: péndulo, diapasón, aire adentro de un tubo, cuerda de guitarra, etc)

Un sistema oscilador o vibrador puede variar su frecuencia así como también su amplitud.



La amplitud de una oscilación también puede variar en el tiempo dando origen a una envolvente, siendo este tipo de comportamiento oscilatorio el característico de las llamadas oscilaciones libres o de régimen transitorio.

El régimen transitorio se caracteriza por su constante de tiempo τ , cuanto más disipativo sea un sistema, es decir cuanto más rápido pierda su energía oscilatoria, menor será su constante de tiempo τ .



1.16_ Osciladores disipativos

Un oscilador disipativo tiene tres formas de operación:

Puede recibir de una sola vez una cantidad dada de energía, con lo cual oscilará con una frecuencia denominada frecuencia libre hasta que la energía recibida se disipe (ej: cuerda de guitarra, cuerda de piano, tambor, etc)

Puede asimismo recibir energía con una frecuencia dada, siendo un caso de oscilación forzada en donde el oscilador responderá con una amplitud dada que dependerá de la frecuencia.

Por ultimo puede también auto-regular la energía que recibe de un agente externo.

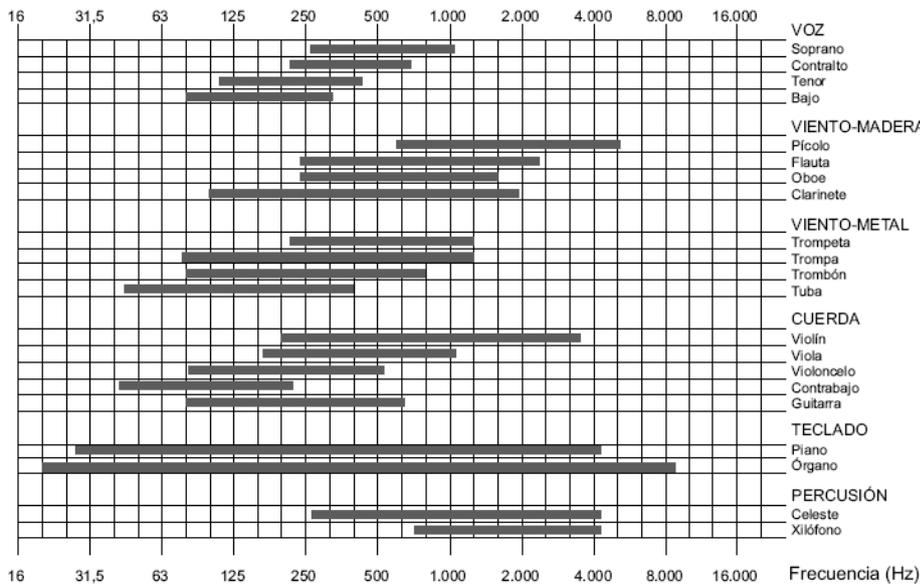
1.17_ Clasificación de los sonidos

Los tonos puros presentan una única frecuencia (f_0) y se caracterizan por no estar presentes en la naturaleza.

Dentro de los sonidos complejos encontramos los musicales y los no musicales.

Los sonidos musicales se caracterizan por su tono (relacionado a f_0) y su timbre (relacionado a los armónicos), donde f_0 es la frecuencia fundamental menor y los armónicos los múltiplos naturales de f_0

Los sonidos no musicales se componen de muchas frecuencias independientes y son los casos mas habituales (por ej: la voz humana, ruidos de maquinas, viento, etc)

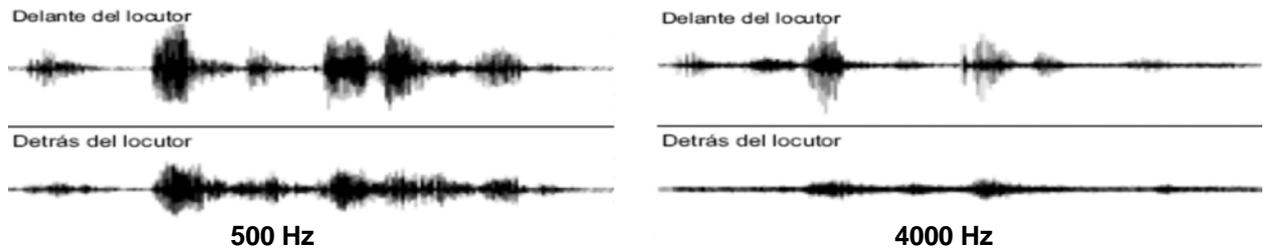


1.18_ Espectro sonoro

La representación gráfica de todos los tonos que constituyen el sonido no resulta demasiado práctica, surgiendo el concepto de espectro sonoro como una forma más económica de representar un sonido complejo.

El espectro del sonido es una lista de las frecuencias y amplitudes de los tonos que lo constituyen y su graficación provee información sumamente útil, en el siguiente gráfico se incluye el espectrograma de la voz humana para las frecuencias de 500 y 4000Hz.

Cuando las frecuencias de los tonos que forman un sonido son múltiplos de una frecuencia dada, éstos se denominan sonidos armónicos.



1.19_ Bandas de frecuencia

Para el análisis de las distintas frecuencias que componen un sonido complejo se suele subdividir el espectro audible en una serie de bandas de frecuencia.

Las más normales son las bandas de octava, de 1/2 octava y de 1/3 octava.

bandas de octava _____ $f_2/f_1=2$ ó $f_2=2 \cdot f_1$ (1.6)
 bandas de 1/2 octava _____ $f_2 / f_1 = \sqrt{2} = 1,41$
 bandas 1/3 octava _____ $f_2 / f_1 = 3\sqrt[3]{2} = 1,25$

donde:

f_1 = frecuencia menor o inicial

f_2 = frecuencia mayor o final

1.20_ Bandas de octava normalizadas

$$f_{cbo} = 63 - 125 - 250 - 500 - 1000 - 2000 - 4000 \text{ Hz} \quad (1.7)$$

donde:

f_{cbo} = frecuencia centro de banda de octava normalizada en Hz

1.21_ Referencias bibliográficas específicas

Beranek, Leo L.:

“Acústica” Editorial Hispanoamericana S.A. Buenos Aires (Arg.), 1961

Knudsen, Vern O; Harris, Cyril M.:

“Acoustical Designing in Architecture”. American Institute of Physics, 1978

Everest, F. Alton:

“The Master Handbook of Acoustics”. McGraw-Hill. Blue Ridge Summit (USA), 1989

Harris, Cyril M.:

“Handbook of Acoustics”. McGraw-Hill. Blue Ridge Summit (USA), 1989

Miyara, Federico:

“Acústica y Sistemas de Sonido” UNR Editora. Rosario (Arg.), 1999

Hakas, Jorge:

“Proyecto de Memoria General Constructiva (parte Acondicionamiento Acústico)”
Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2003