

# ONDAS SONORAS



1

## Definición: **SONIDO**



Desde un punto de vista **subjetivo**

- Es la sensación producida en la conciencia de un observador al ser estimuladas las terminaciones de su nervio auditivo.

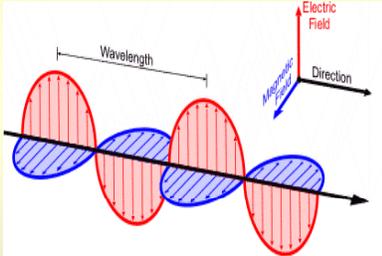
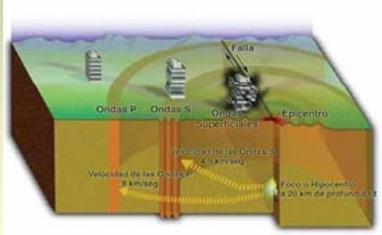


Desde el punto de vista **objetivo**

- Son las ondas producidas por compresión del aire capaces de producir una sensación auditiva

2

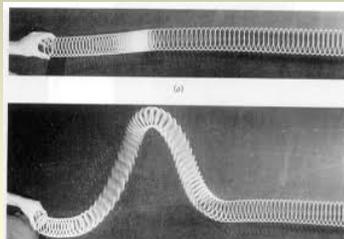
# Clasificación de la Ondas



- **Ondas mecánicas:** las ondas mecánicas necesitan un medio elástico para desplazarse (sólido, líquido o gaseoso) . Por ejemplo las ondas elásticas, las ondas sonoras, sísmicas.
- **Ondas electromagnéticas:** estas se propagan por el espacio sin necesidad de un medio pudiendo, por tanto, propagarse en el vacío.
- **Ondas gravitacionales:** son perturbaciones que alteran en sí mismo la geometría del espacio-tiempo.

3

# Clasificación



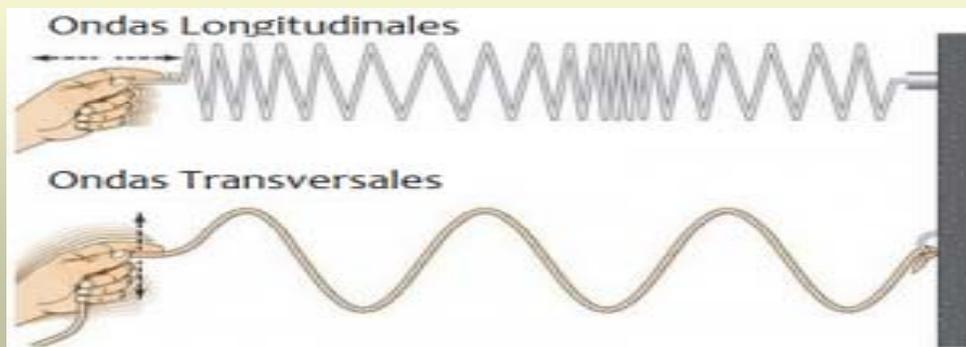
- **Ondas unidimensionales:** son aquellas que se propagan en una sola dirección del espacio, como por ejemplo las ondas en los resortes o en las cuerdas de una guitarra.
- **Ondas bidimensionales o superficiales:** son ondas que se propagan en dos direcciones, como por ejemplo una piedra al caer en un estanque.
- **Ondas tridimensionales o esféricas:** son ondas que se propagan en tres direcciones, como las sonoras y las electromagnéticas.

4

# Ondas Unidimensionales

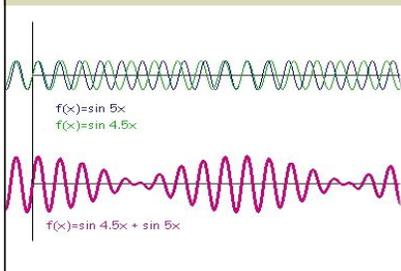
**ONDAS LONGITUDINALES:** el movimiento de las partículas que transportan la onda es **paralelo** a la dirección de propagación de la onda.

**ONDAS TRANSVERSALES:** el movimiento de las partículas que transportan la onda es **perpendicular** a la dirección de propagación de la onda.

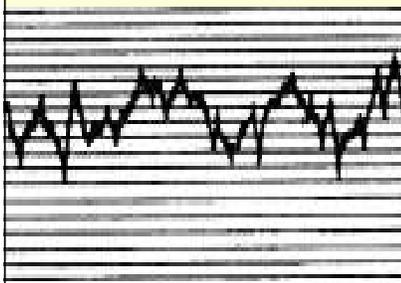


5

## Clasificación



- **Ondas periódicas:** la perturbación local que las origina se produce en ciclos repetitivos por ejemplo una onda senoidal.
- **Ondas no periódicas:** la perturbación que las origina se da aisladamente o, en el caso de que se repita, las perturbaciones sucesivas tienen características diferentes. Las ondas aisladas se denominan también pulsos.



6

# Definición de Ondas Sonoras

Son aquellas ondas que se propagan por un medio elástico y que se hallan dentro del intervalo de frecuencias audibles.

Las ondas sonoras en la atmósfera se originan siempre por el **movimiento vibratorio** de algún cuerpo en contacto con el aire.



7

## ¿Cómo llega el sonido hasta nuestros oídos?

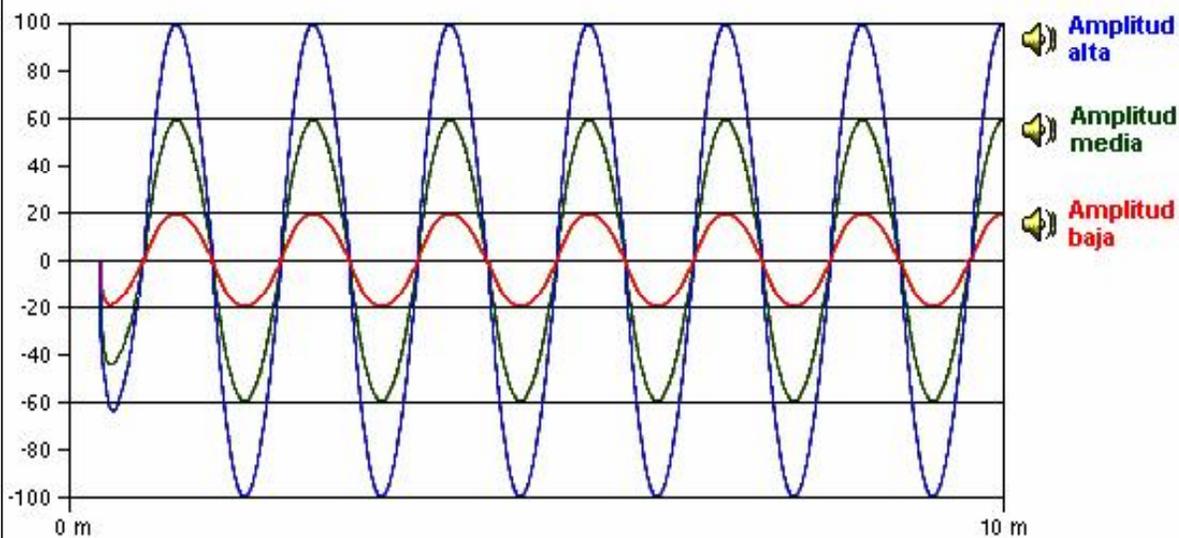
Cuando un objeto vibra, en su entorno inmediato se producen variaciones de presión y estas variaciones se propagan a través de un medio que puede ser sólido, líquido o gaseoso. Las partículas materiales que transmiten tales ondas oscilan en la dirección de la propagación de las mismas ondas.

El sonido llega a nuestros oídos gracias a que las partículas que componen el aire vibran y transmiten su oscilación.

8

## ¿ Cuáles son sus Magnitudes Fundamentales ?

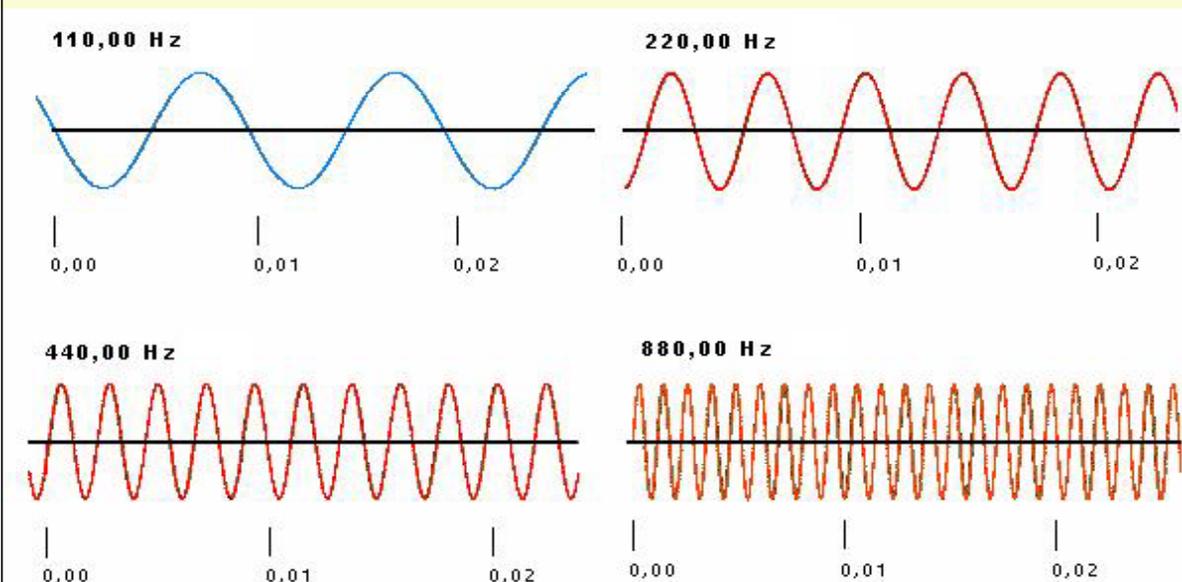
- La **máxima excursión** que alcanzan las ondas se llama **amplitud** y determina el **volumen** o **nivel sonoro**.



9

## ¿ Cuáles son sus Magnitudes Fundamentales ?

- Al **número de ondas** que caben en un tiempo determinado se lo llama **frecuencia**, y se lo mide en Hertz y determina la **altura** de un sonido.

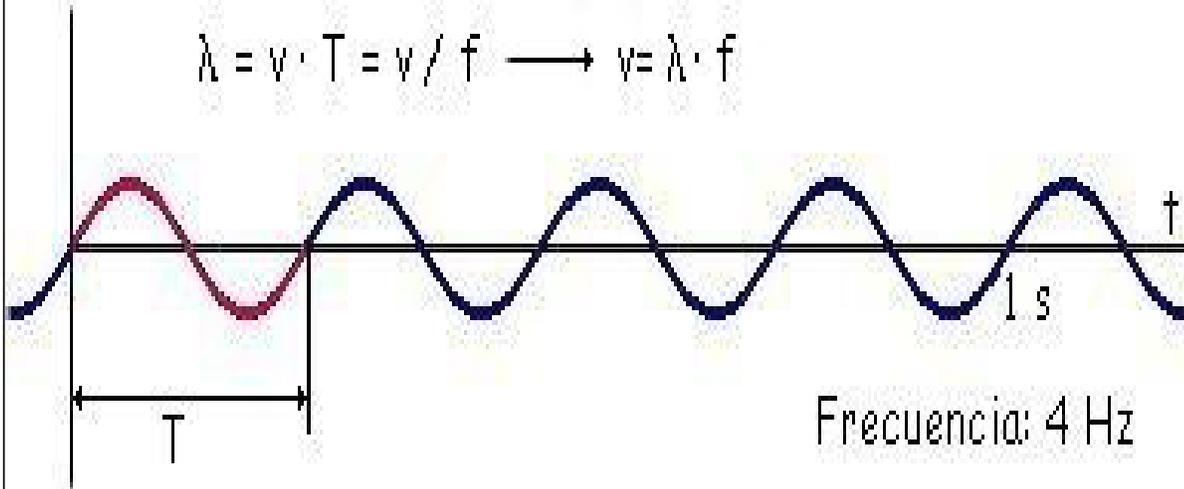


10

# ¿ Cuáles son sus Magnitudes Fundamentales ?

- La inversa de la frecuencia se denomina **período,  $T$** .
- La **medida del espacio** que existe entre una onda y la siguiente se llama **longitud de onda,  $\lambda$** .

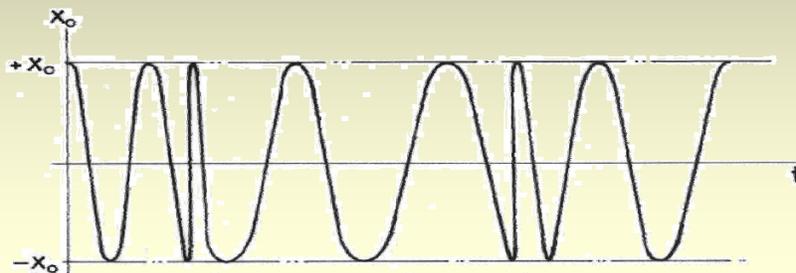
$$\lambda = v \cdot T = v / f \longrightarrow v = \lambda \cdot f$$



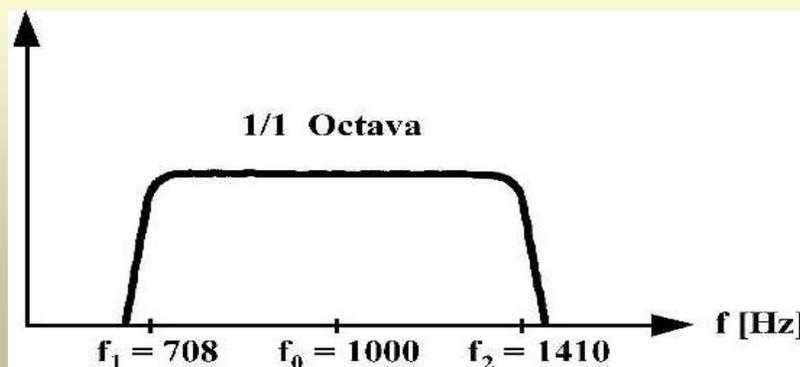
11

# ¿ Cómo se representa ?

- En función del tiempo:

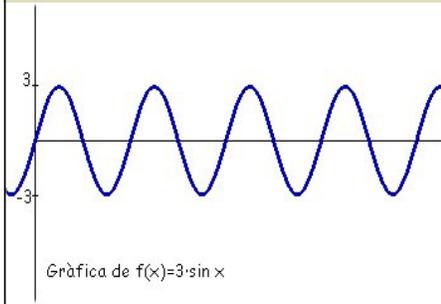


- En función de la frecuencia:

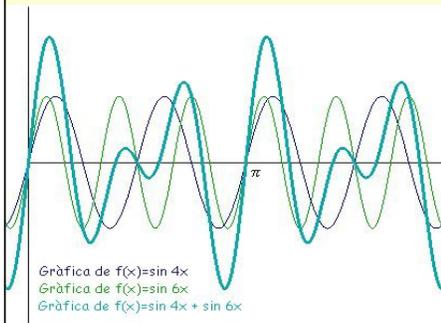


12

## ¿Cómo se clasifican los sonidos ?



- **Sonido puro:** Se denomina así a aquel sonido que está constituido por onda de una única frecuencia y de forma senoidal.

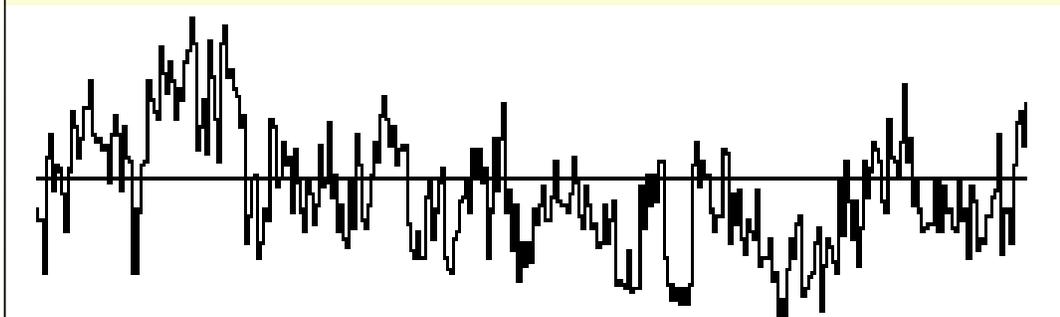


- **Sonido musical:** Se denominan así a aquel sonido constituido por ondas de distintas frecuencias que se superponen ordenadamente siguiendo una estructura armónica en función del tiempo.

13

## ¿Cómo se clasifican los sonidos ?

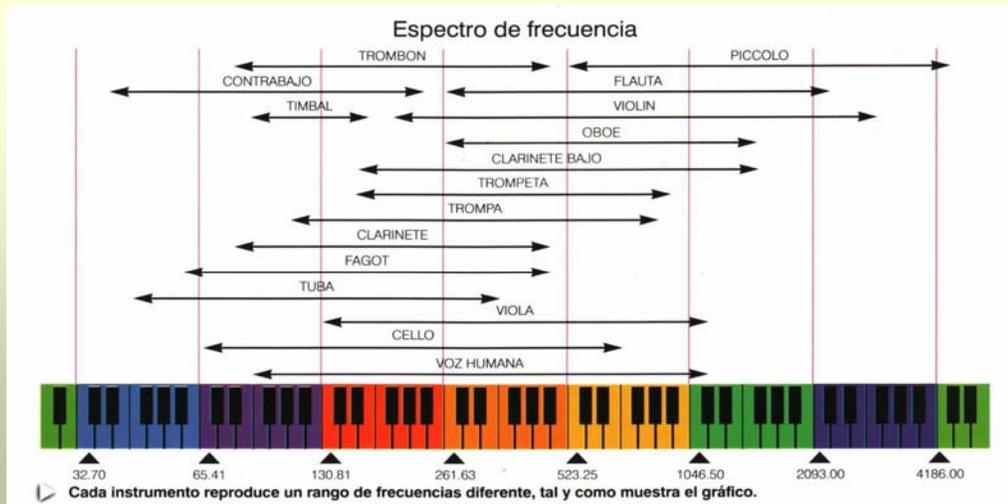
- **Ruido:** Se denomina así a aquel sonido que está constituido elementos aperiódicos (irregulares), en él conviven todas las frecuencias audibles, con fluctuaciones en intensidad y frecuencia.



14

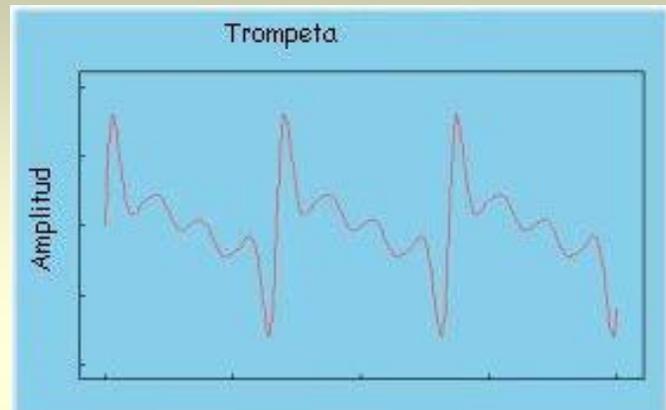
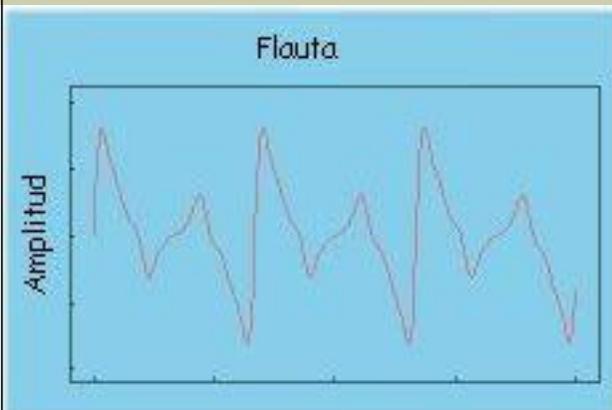
# Tono y Timbre

- La frecuencia de un sonido determina lo que el oído juzga como el **TONO** del sonido. Los músicos designan el tono por las letras que corresponden a las notas de las teclas del piano. Por ejemplo, las notas do, re y fa se refieren a tonos específicos, o frecuencias.



15

# Tono y Timbre



- Dos sonidos del mismo tono se pueden distinguir fácilmente. Por ejemplo, suponga que suena la nota “Do” (250 Hz) sucesivamente en una flauta y una trompeta. Aun cuando cada sonido tiene el mismo tono, hay una marcada diferencia. Se dice que esta diferencia resulta una diferencia en la calidad o **timbre** del sonido.

16

# OCTAVAS

El término octava se utiliza para designar un intervalo de frecuencias comprendido entre una frecuencia dada y otra igual al doble de la anterior.

Se llama así porque la escala musical es de siete notas y la siguiente, es decir la octava, tiene una frecuencia igual al doble de la primera.

Ej.: La frecuencia de la nota <LA> es de 440 Hz.

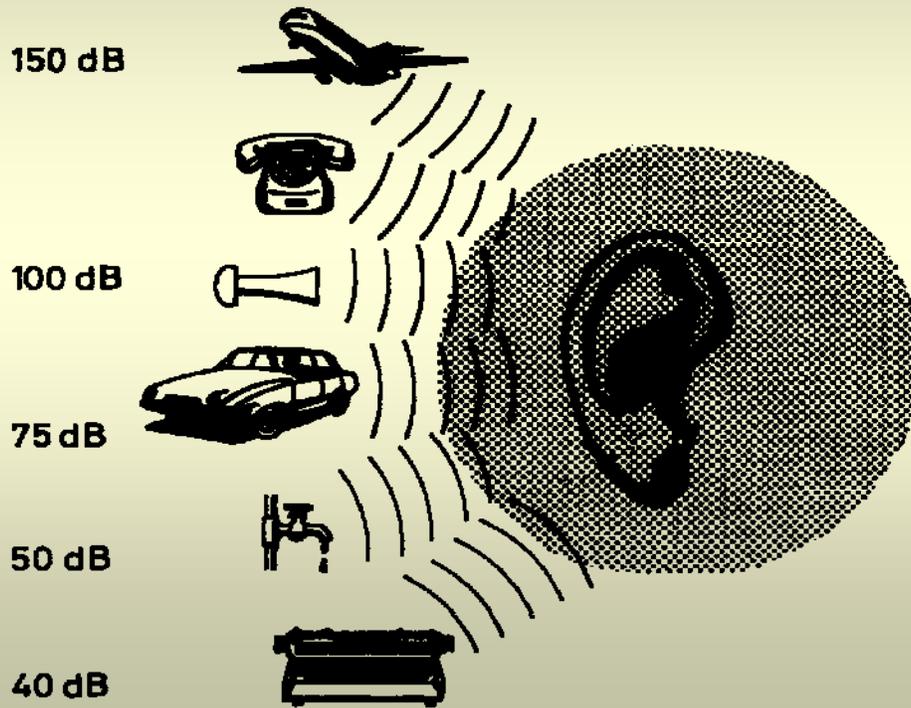
Las frecuencias de 880 Hz (2 x 440 Hz) y 1.760 Hz (3 x 440 Hz) también corresponden a la nota <LA> pero en octavas superiores.

El grupo de frecuencias audibles, aproximadamente entre 20 Hz y 20.000 Hz.

Se ha dividido en 10 bandas o segmentos de frecuencias cuya amplitud y frecuencia central están definidas por normas internacionales así:

Banda	Frec. central [Hz]	Banda	Frec. central [Hz]
<b>1</b>	<b>31,4</b>	<b>6</b>	<b>1000</b>
<b>2</b>	<b>63</b>	<b>7</b>	<b>2000</b>
<b>3</b>	<b>125</b>	<b>8</b>	<b>4000</b>
<b>4</b>	<b>250</b>	<b>9</b>	<b>8000</b>
<b>5</b>	<b>500</b>	<b>10</b>	<b>16000</b>

# NIVELES SONOROS



19

## Niveles Sonoros

La presión atmosférica, es decir la presión del aire ambiental en ausencia de sonido, se mide en Pascales, [Pa] y es de alrededor de 100.000 Pa.

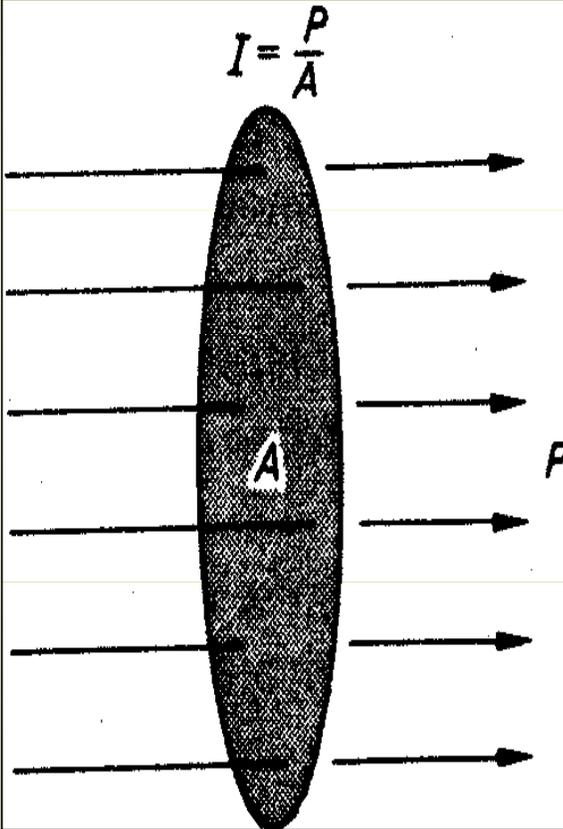
La presión sonora es la diferencia entre la presión instantánea debida a un sonido y la presión atmosférica.

La presión sonora tiene en general valores muchísimo menores que el correspondiente a la presión atmosférica.

Por ejemplo, los sonidos más intensos que pueden soportarse sin experimentar un dolor auditivo agudo corresponden a unos **20 Pa**, mientras que los apenas audibles están cerca de **20  $\mu$ Pa**.

20

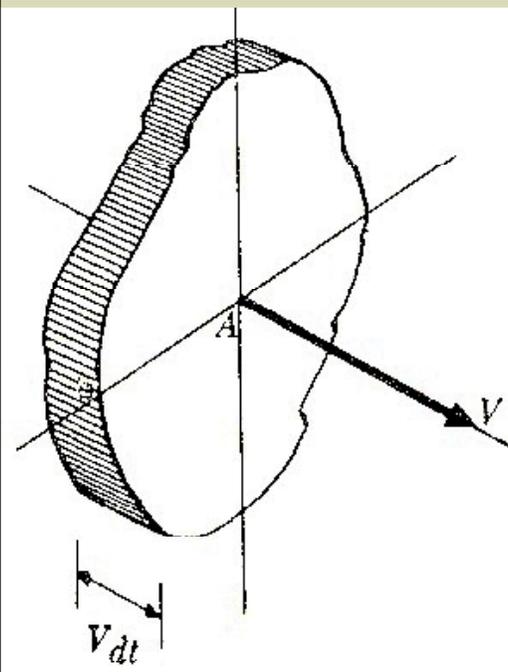
# Intensidad



- Desde el punto de vista de la Física lo que se propaga en una onda es ENERGÍA
- La **INTENSIDAD** de una onda que se propaga se define como la cantidad media de energía transportada por unidad de superficie y por unidad de tiempo.

21

# Intensidad



$$I = \frac{P^2}{2\rho_0 V}$$

- La intensidad de una onda sonora cuya amplitud corresponde al sonido más fuerte que puede tolerarse es de aprox.  $1 \text{ W/m}^2$ .
- La intensidad de una onda sonora cuya amplitud corresponde al sonido más débil que se puede percibir es de aprox.  $10^{-12} \text{ W/m}^2$ .

22

# El Decibel

- El hecho de que la relación entre las intensidades del sonido más fuerte y la del sonido más débil sea de alrededor de  $10^{12}$  ha llevado a adoptar una escala comprimida denominada escala logarítmica.
- El decibel es una unidad logarítmica, utilizada en diferentes disciplinas de la ciencia, que relaciona dos parámetros y en consecuencia es adimensional.
- En todos los casos se usa para comparar una cantidad con otra llamada de referencia.

23

## Nivel de Intensidad

Llamando  $I_{ref}$ , intensidad de referencia a la intensidad de un tono apenas audible (es decir  $10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>) e  $I$  a la intensidad sonora, podemos definir el Nivel de Intensidad, NI, como:

$$NI = 10 \log (I / I_{ref})$$

(donde **log** significa el logaritmo decimal, o sea en base 10).

A los decibeles que relacionan intensidades sonoras se les llama:

$$dB_{IL}$$

Donde: IL = Intensity Level.

24

## Nivel de Potencia Sonora

Llamando  $W_{ref}$ , potencia de referencia a la potencia de un tono apenas audible (es decir  $10^{-12}$  W) y  $W$  a la potencia sonora, podemos definir el Nivel de Potencia Sonora,  $L_W$ , como:

$$L_W = 10 \log (W / W_{ref})$$

A los decibeles que relacionan potencias sonoras se les llama  $dB_{PWL}$

Donde: PWL = Power Level.

25

## Nivel de Presión Sonora

Llamando  $P_{ref}$ , presión de referencia a la presión de un tono apenas audible (es decir  $20 \mu Pa$ ) y  $P$  a la presión sonora, podemos definir el nivel de presión sonora,  $L_p$ , como:

$$L_p = 20 \log (P / P_{ref})$$

El nivel de presión sonora de los sonidos audibles varía entre 0 dB y 120 dB.

A los decibeles que relacionan presiones sonoras se les llama

$dB_{SPL}$

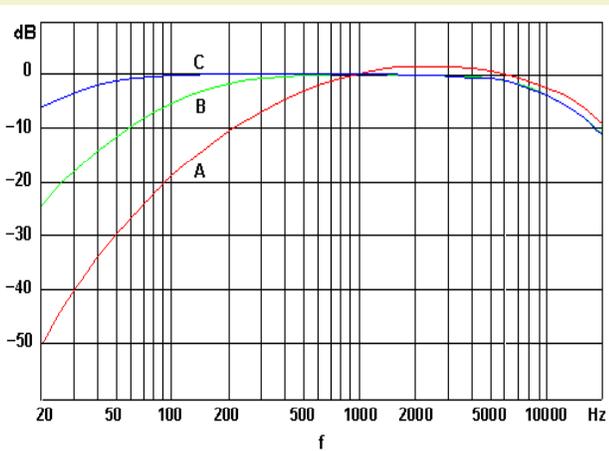
Donde: SPL = Sound Pressure Level.

26

## Nivel Sonoro con Ponderación "A"

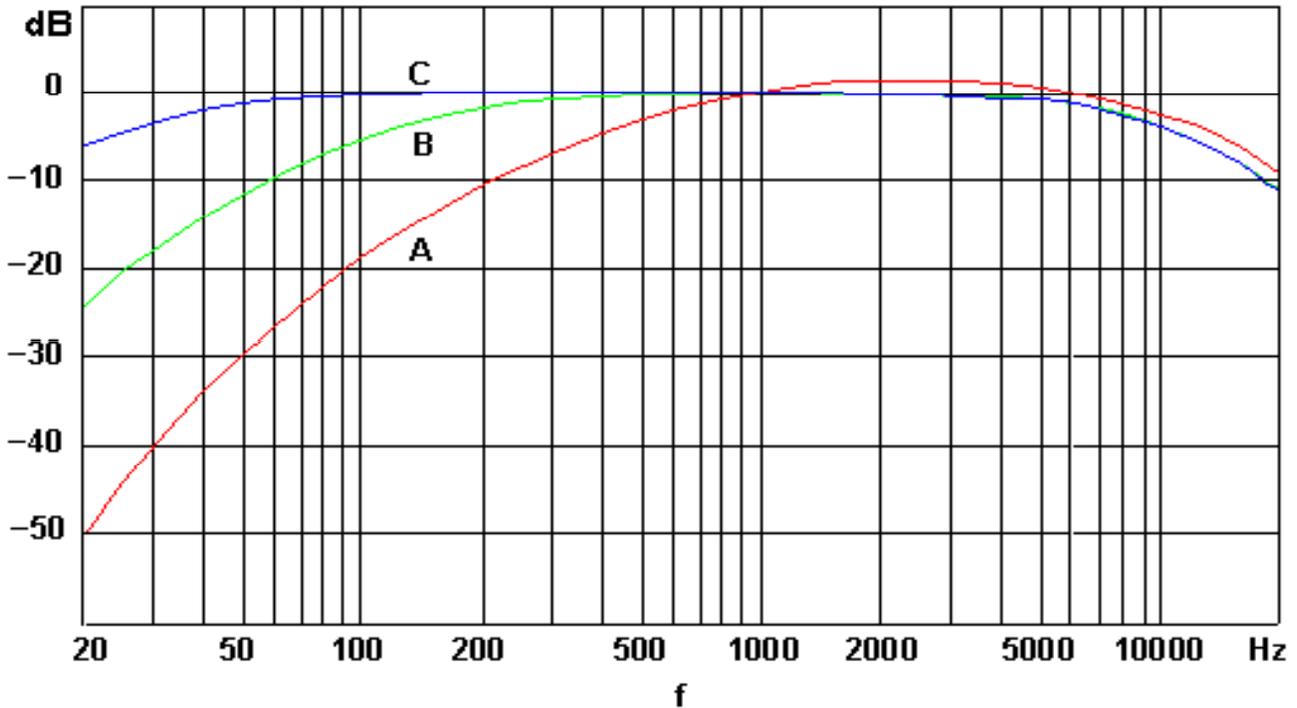
- A raíz de la dependencia de la frecuencia de la sensación de sonoridad, se pensó que utilizando una red de filtrado adecuada sería posible medir esa sensación en forma objetiva.
- Esta red de filtrado tendría que atenuar las bajas y las muy altas frecuencias, dejando las medias casi inalteradas.
- El oído se comporta de diferente manera con respecto a la dependencia de la frecuencia para diferentes niveles físicos del sonido.

## Nivel Sonoro con Ponderación "A"



- Se diseñan tres redes de ponderación de frecuencia llamadas A, B y C respectivamente.
- Existe una buena correlación entre el nivel sonoro A y la respuesta del oído.

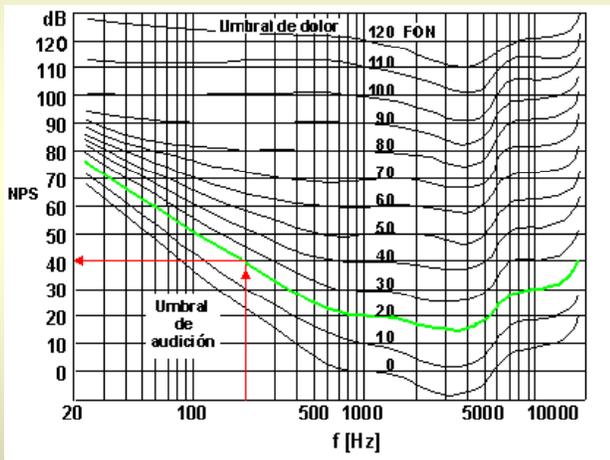
# Nivel Sonoro con Ponderación "A"



29

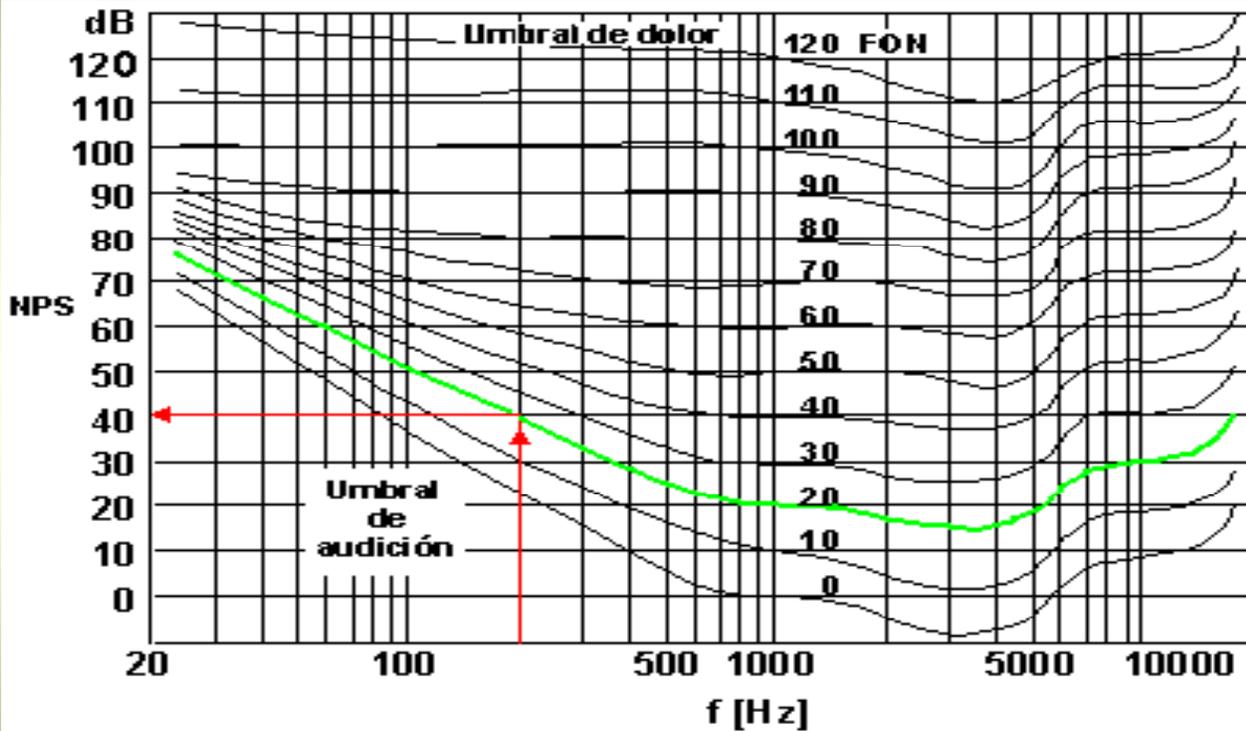
## Sensación de Sonoridad

- La sensibilidad del oído depende fuertemente de la frecuencia.
- Este fenómeno fue estudiado por Fletcher y Munson en 1933.
- Mientras que un sonido de 1 kHz y 0 dB ya es audible, es necesario llegar a los 37 dB para poder escuchar un tono de 100 Hz, y lo mismo es válido para sonidos de más de 16 kHz.



30

# Sensación de Sonoridad



31

# Medidor de Nivel Sonoro

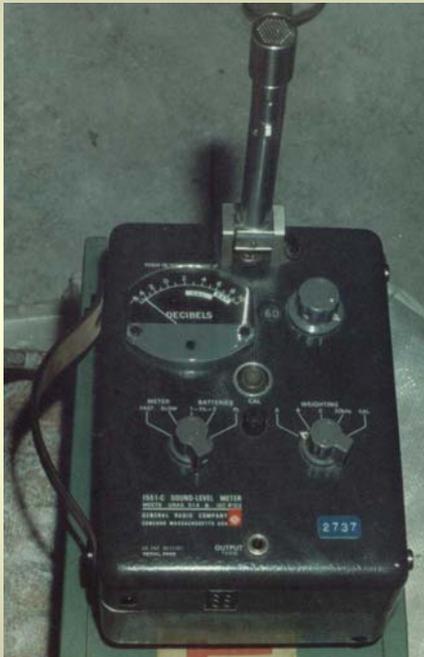


## Especificaciones Técnicas

- Clase II, para mediciones de campo.
- Rango 30 - 130 dB.
- Redes de compensación de frecuencias "A" y "C".
- Velocidad de respuesta **rápida** ( $\tau = 125 \text{ ms}$ ) y **lenta** ( $\tau = 1 \text{ s}$ ).
- Indicador digital.

32

# Medidor de Nivel Sonoro



## Especificaciones Técnicas

- Clase II, para mediciones de campo.
- Rango 30 - 130 dB.
- Redes de compensación de frecuencias "A", "B" y "C".
- Velocidad de respuesta **rápida y lenta**.
- Indicador analógico.

# Medidor de Nivel Sonoro



## Especificaciones Técnicas

- Clase II.
- Rango 30 - 130 dB.
- Redes de compensación de frecuencias "A" y "C".
- Velocidad de respuesta **rápida y lenta**.
- Indicador digital.
- Almacenamiento de datos
- Interfase RS - 232 a P.C.

# Niveles Sonoros Característicos

Sonidos característicos	N.P.S. [dB]	Comentario
Zona de lanzamiento de cohetes	180	Pérdida auditiva irreversible
Operación en pista de jets - Sirena antiaérea	140	Dolorosamente fuerte
Trueno	130	--
Despegue de jets (60 m) - Bocina auto (1 m)	120	Maximo esfuerzo vocal
Martillo neumático - Concierto de Rock	110	Extremadamente fuerte
Camión recolector - Petardos	100	Muy fuerte
Camión pesado (15 m) - Tránsito urbano	90	Muy molesto - Daño auditivo (8 Hrs)
Secador de cabello	80	Molesto
Restaurante ruidoso - Tránsito por autopista -	70	Difícil uso del teléfono
Aire acondicionado - Conversación normal	60	Intrusivo
Tránsito de vehículos livianos (30 m)	50	Silencio
Líving - Dormitorio - Oficina tranquila	40	--
Biblioteca - Susurro a 5 m	30	Muy silencioso
Estudio de radiodifusión	20	--
--	10	Apenas audible
--	0	Umbral auditivo

35

# PROPAGACIÓN DEL SONIDO

## VELOCIDAD DEL SONIDO

La velocidad de propagación de la onda sonora depende de las características del medio en el que se transmite dicha onda; presión, temperatura, densidad, humedad, entre otros. En general, la velocidad del sonido es mayor en los sólidos que en los líquidos y en los líquidos mayor que en los gases:

- En el agua (a 35 °C) es de 1.493 m/s (a 22 °C) es de **1.498 m/s**.
- En la madera es de **3.700 m/s**.
- En el hormigón es de **4.000 m/s**.
- En el acero es de **6.100 m/s**.
- En el aluminio es de **6.300 m/s**.

36

# Velocidad del sonido

El sonido viaja en el **aire**  
a:

$$c = 331,3 + 0,608 t$$

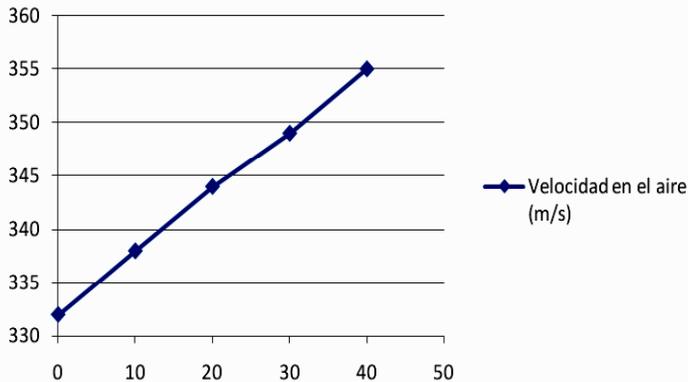
Donde:

- **t** es la temperatura °C
- **c** está en **m/s**.

En particular, a **20 °C**  
resulta:

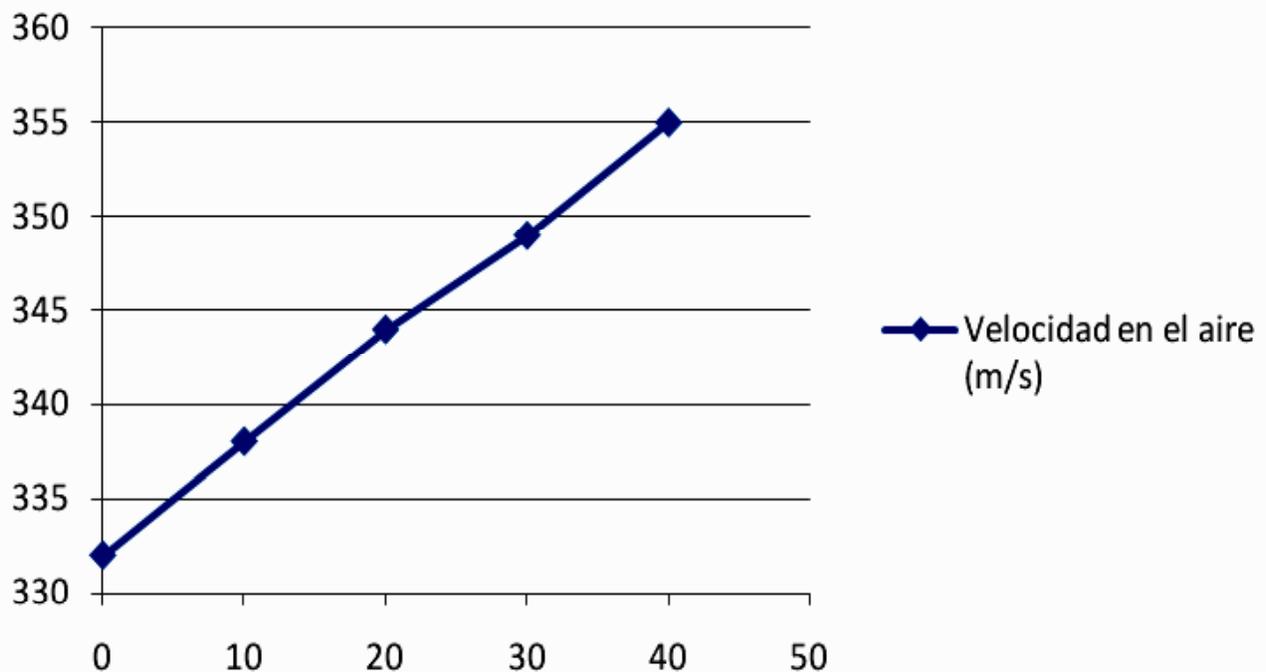
$$c = 344 \text{ m/seg.}$$

Velocidad en el aire (m/s)



37

Velocidad en el aire (m/s)



38

# PROPAGACIÓN AL AIRE LIBRE



39

## Ley de las Distancias

Forma general de la **ley de las distancias** al aire libre, sin obstáculos:

$$dB_{SPL1} - dB_{SPL2} = 20 \cdot \log [r_2 / r_1]$$

donde:

- $dB_{SPL1}$ ; es el nivel sonométrico a la distancia  $r_1$
- $dB_{SPL2}$ ; es el nivel sonométrico a la distancia  $r_2$
- $dB_{SPL1} - dB_{SPL2} =$  Variación relativa de nivel

40

# Ley de las Distancias

Supóngase que la distancia:

$$r_2 = 2.r_1$$

entonces la variación relativa de nivel será:

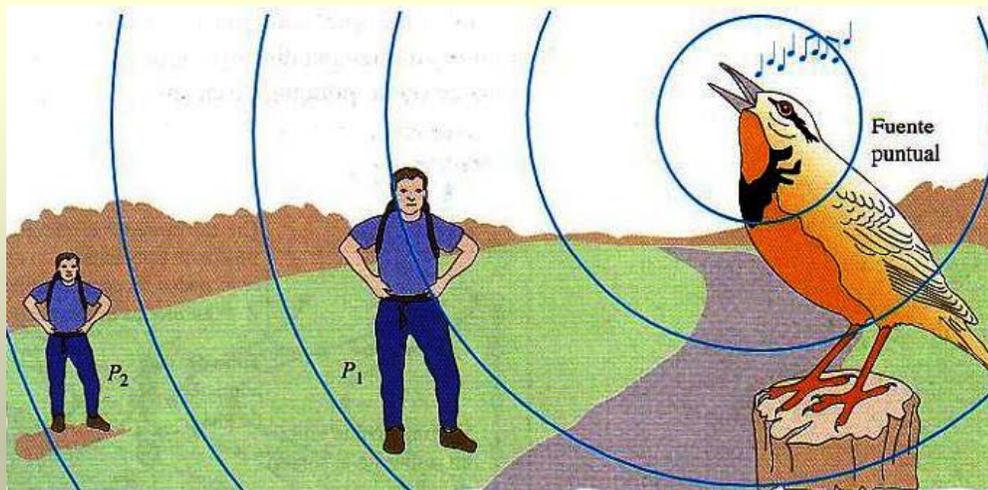
$$dB_{SPL1} - dB_{SPL2} = 20 \log [2.r_1 / r_1] = 20 . \log 2$$

$$dB_{SPL1} - dB_{SPL2} = 6$$

41

# Ley de las Distancias

Al aire libre dentro de un campo sonoro, cada duplicación de distancia respecto del emisor produce, como consecuencia, una disminución de 6 dB en el nivel sonométrico medido y por el contrario, cada vez que se disminuye la distancia a la mitad respecto del emisor se produce un incremento de 6 dB.



42

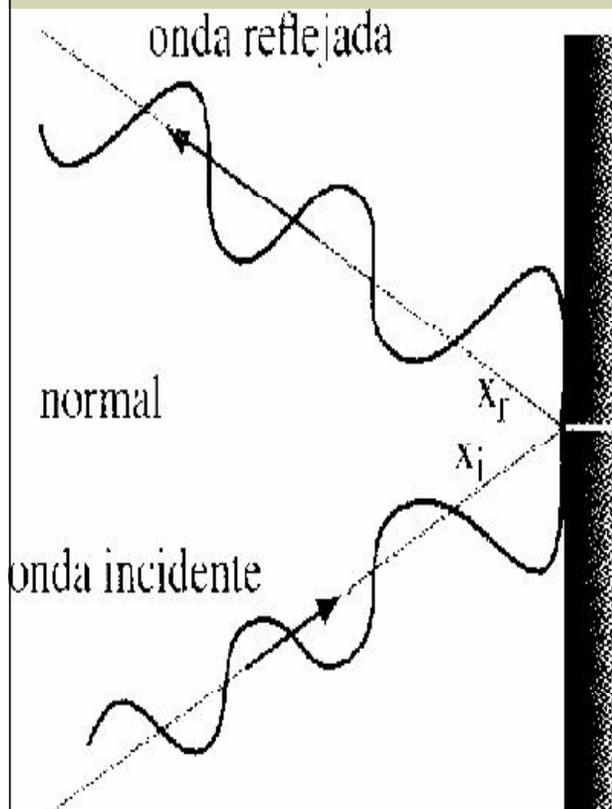
# PROPAGACIÓN DEL SONIDO

## FENÓMENOS FÍSICOS QUE LA AFECTAN

- Reflexión
  - Ondas estacionarias
  - Eco
  - Reverberación
  - Difusión
- Refracción
- Absorción
- Difracción

43

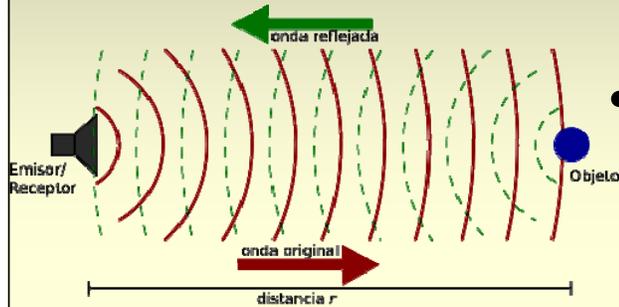
## Reflexión



- Una onda se refleja (rebota al medio del cual proviene) cuando se encuentra con un obstáculo que no puede traspasar ni rodear.
- La reflexión no actúa igual sobre las altas frecuencias que sobre las bajas. La longitud de onda de las bajas frecuencias es muy grande (pueden alcanzar los 18 m), por lo que son capaces de rodear la mayoría de obstáculos; en cambio las altas frecuencias no.

44

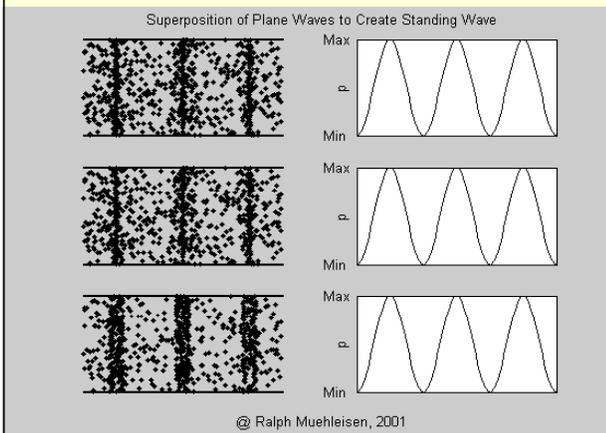
# Fenómenos relacionados con la reflexión



## Ondas estacionarias

- Se producen por la suma de una onda y su onda reflejada sobre un mismo eje. Dependiendo cómo coincidan las fases de la onda incidente y de la reflejada, se producirán modificaciones en el sonido (aumenta la amplitud o disminuye), por lo que el sonido resultante puede resultar desagradable.

45

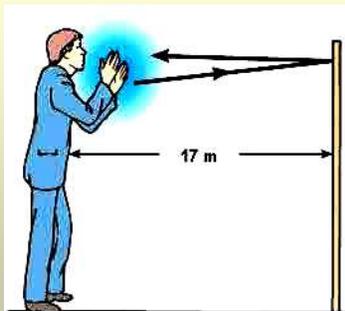


# Fenómenos relacionados con la reflexión



## Eco

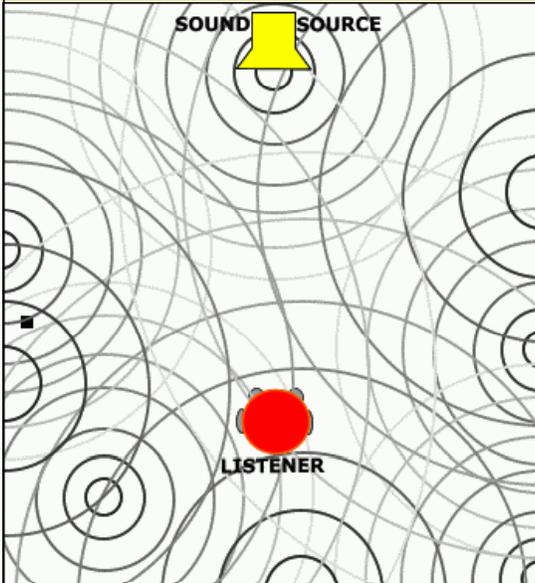
- Es un fenómeno acústico producido cuando una onda se refleja y regresa hacia su emisor con un retardo de al menos 70 ms para sonidos secos y 100 ms para sonidos complejos, que es el tiempo de persistencia acústica del oído.
- Considerando que la velocidad del sonido es de 344 m/s, para que se perciban dos sonidos como distintos la diferencia entre el recorrido directo y el recorrido reflejado del sonido debe ser de al menos aproximadamente 34 m.



46

# Fenómenos relacionados con la reflexión

## Reverberación



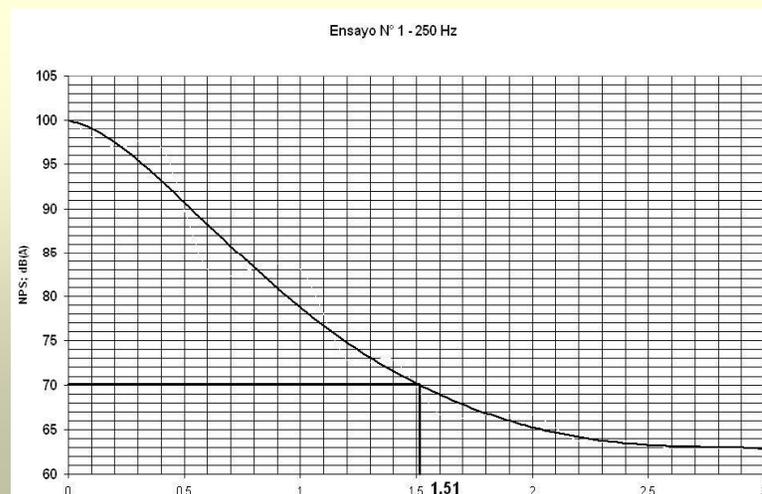
- Se produce reverberación cuando las ondas reflejadas llegan al oyente antes de la extinción de la onda directa, es decir, en un tiempo menor que el de persistencia acústica del oído.
- La reverberación, al modificar los sonidos originales, es un parámetro que cuantifica notablemente la acústica de un recinto. Para valorar su intervención en la acústica de una sala se utiliza el Tiempo de Reverberación.

47

# Fenómenos relacionados con la reflexión

## Tiempo de Reverberación (TR60)

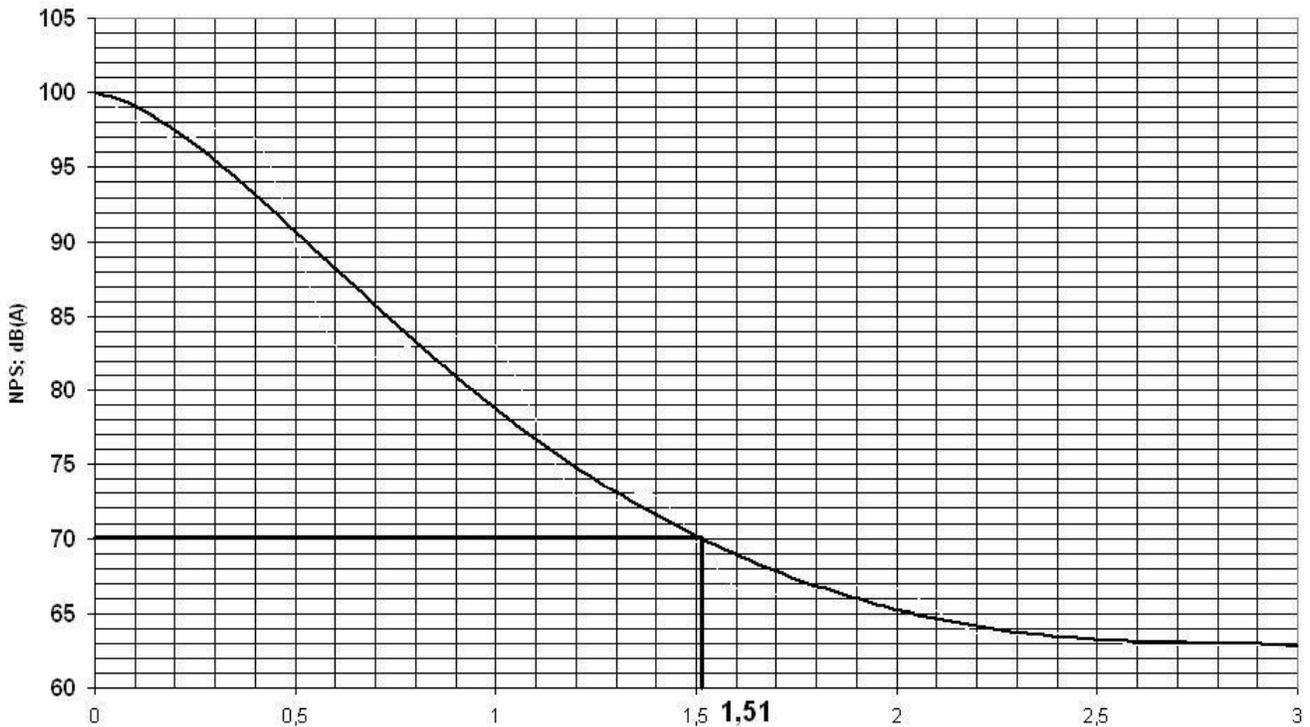
Se define como el tiempo **T** necesario a partir de la interrupción de una fuente sonora para que la densidad de energía se reduzca en **60 dB**, es decir, que se reduzca a una millonésima parte de la densidad de energía original.



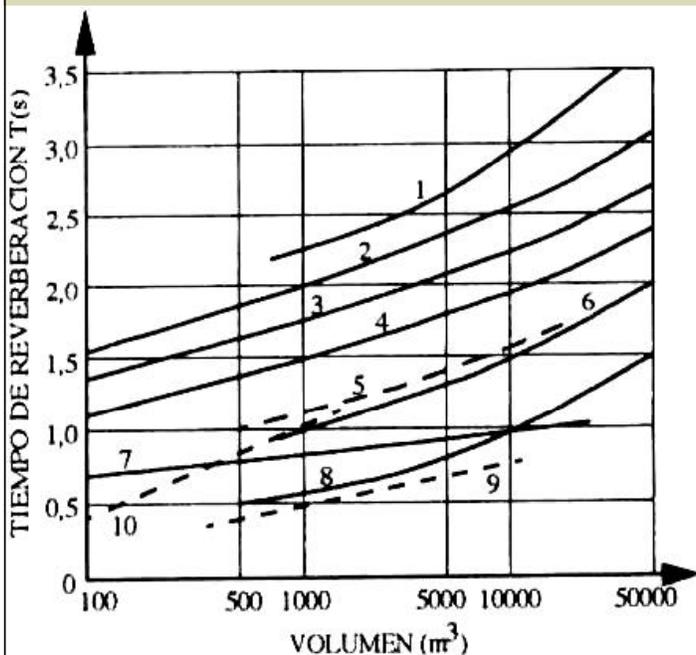
48

# Fenómenos relacionados con la reflexión

Ensayo N° 1 - 250 Hz



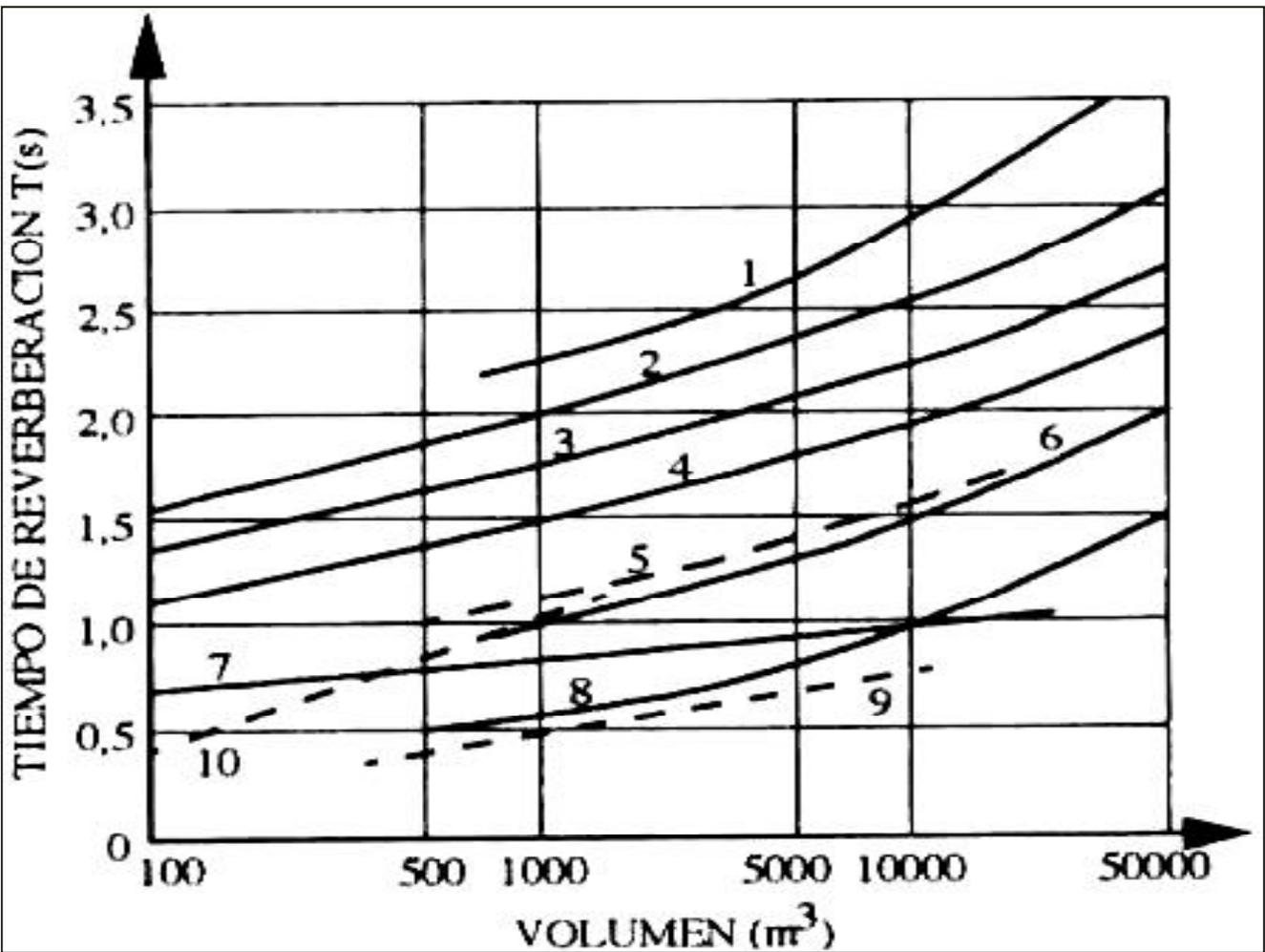
# Fenómenos relacionados con la reflexión



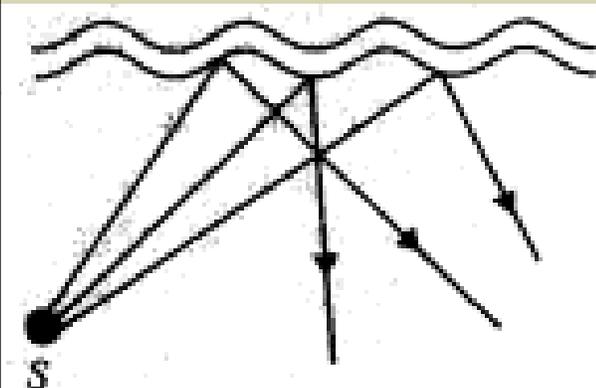
Tiempo de Reverberación (TR60)

Referencias:

1. Salas para música religiosa
2. Salas de concierto para música orquestal
3. Salas de concierto para música ligera
4. Estudios de concierto
5. Salas de baile
6. Teatros de ópera
7. Auditorios para palabra
8. Cines y salas de conferencias
9. Estudios de T.V.
10. Estudios de Radio

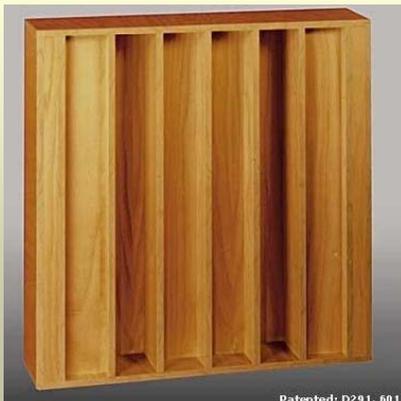


## Fenómenos relacionados con la reflexión

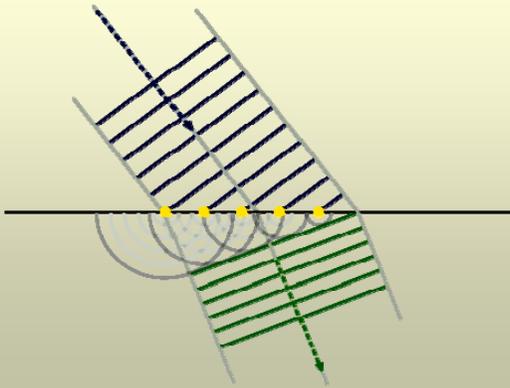
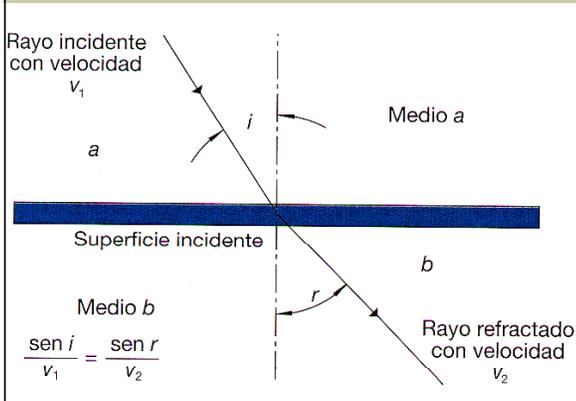


### Difusión

- Si la superficie donde se produce la reflexión presenta alguna rugosidad, la onda reflejada no sólo sigue una dirección sino que se descompone en múltiples ondas.



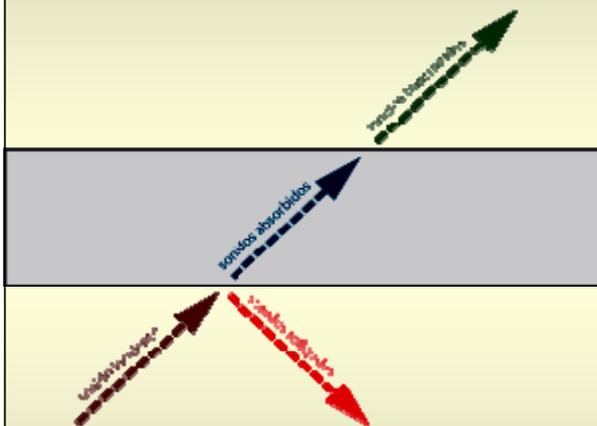
# Refracción



- Es la desviación que sufren las ondas en la dirección de su propagación, cuando el sonido pasa de un medio a otro diferente. La refracción se origina en el cambio de velocidad de propagación de la onda. El sonido se propaga más rápidamente en el aire caliente que en el aire frío.
- La ley de Snell se utiliza para obtener el ángulo de refracción de cualquier onda al atravesar la superficie de separación entre dos medios en los que la velocidad de propagación de la onda varíe.

53

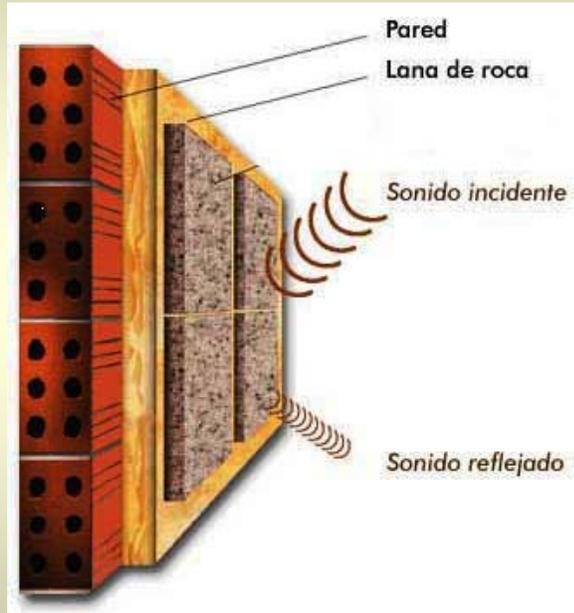
# Absorción



- Cuando una onda sonora alcanza una superficie, la mayor parte de su energía se refleja, pero un porcentaje de ésta es absorbida por el nuevo medio.
- Todos los medios absorben un porcentaje de energía que propagan, ninguno es completamente opaco.

54

# Absorción



- **Coefficiente de absorción:** se define como la relación entre la energía absorbida por el material y la energía reflejada por el mismo. Es un valor que varía entre 0 (toda la energía se refleja) y 1 (toda la energía es absorbida). Normalmente, se expresa en Sabines. Este valor variará para cada frecuencia.
- El coeficiente de absorción hay que tenerlo en cuenta a la hora de acondicionar acústicamente una sala.

55

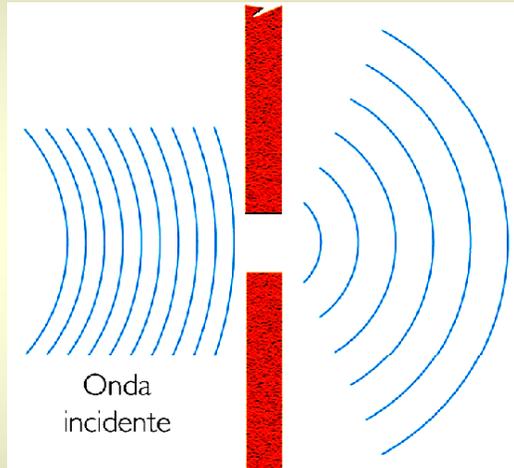
# Absorción



- Si una sala tiene paredes altamente reflectantes del sonido, la inteligibilidad disminuye porque los sonidos que se van emitiendo, se confunden con los anteriores que aun no se han extinguido.
- Lo contrario sucede si las paredes son muy absorbentes, en cuyo caso se observa una sensación de molestia causada por el hecho de que los sonidos “mueren” inmediatamente después de ser emitidos.

56

# Difracción



- Es un fenómeno por el cual cuando una onda sonora encuentra un obstáculo en su dirección de propagación, es capaz de rodearlo y seguir propagándose.
- Según el Principio de Huygens, cualquier punto de un frente de ondas es susceptible de convertirse en un nuevo foco emisor de ondas secundarias que se extienden en todas las direcciones con la misma velocidad, frecuencia y longitud de onda que el frente de onda del que proceden.

57

# Difracción



Se puede producir por dos motivos:

- Una onda encuentra a su paso un pequeño obstáculo y lo rodea. Las bajas frecuencias son más capaces de rodear los obstáculos que las altas. Esto es posible porque las longitudes de onda en el espectro audible están entre 1,7cm y 17m, por lo que son lo suficientemente grandes para superar la mayor parte de los obstáculos.
- Una onda topa con un pequeño agujero y lo atraviesa. La cantidad de difracción estará dada en función del tamaño de la propia abertura y de la longitud de onda.



58

# REFERENCIAS

- **LIBROS**

- **SOUND SYSTEM ENGINEERING** - M. D. Davis y C. Davis, Ed. Sams, Indianápolis, 1987.
- **INGENIERÍA ACUSTICA** - Manuel Recuero López, Ed. Paraninfo, Madrid, 2000.
- **CONTROL DE RUIDO** - Federico Miyara, Rosario, 1999.
- **FUNDAMENTOS DE FÍSICA I – Mecánica, Calor y Sonido** – Francis W. Sears, Ed. Aguilar, Madrid, 1975.

- **APUNTES**

- **CÁTEDRA SIST. DE SONIDO** – Alberto A. Catoira, Mendoza, 2011.