La resonancia también tiene efectos positivos. Por ejemplo, cuando sintonizamos una estación en nuestro radio o televisor, lo que estamos haciendo es hacer coincidir la frecuencia de resonancia de nuestro sistema (el radio) con la frecuencia del agente externo (la estación que queremos oír) y así logramos que la amplitud sea máxima o sea que se oiga bien. De hecho estamos provocando una resonancia del tipo eléctrica en este caso.

B.- SONIDO

1.- INTRODUCCIÓN

La acústica es la ciencia que estudia el sonido, en nuestro medio ambiente estamos rodeados por diferentes sonidos que percibimos o escuchamos, por ejemplo, el hablar o cantar, el golpear un diapasón, al tocar un instrumento musical, etc.

Si se coloca un dedo en el cuello al estar hablando, se sienten vibraciones de las cuerdas vocales; otro ejemplo es al golpear el diapasón, el cual vibra y al sumergir uno de sus extremos en el agua, ver fig. 18, se observa que salpican gotas de agua en todas direcciones, mostrando una fuente sonora (diapasón). El sonido es producido por una fuente en vibración.

En el sonido, la energía se transfiere desde la fuente en forma de ondas sonoras longitudinales. Por lo tanto, *el sonido es una onda mecánica longitudinal que se propaga a través de un medio elástico*. Para que se produzca una onda sonora se necesita: una fuente en vibración y un medio elástico a través del cual se pueda propagar la perturbación.

Un experimento sencillo que puede mostrar la necesidad de un medio elástico es cuando se coloca un reloj despertador en una campana de vacío y se pone a funcionar, extrayendo poco a poco el aire que hay dentro de la campana se observa que al accionar el timbre del reloj se va escuchando menos, conforme es menor la cantidad de aire, hasta que existe vacío y sólo se ve el reloj que está vibrando y no se escucha el timbre. Si se permite la entrada de aire, se vuelve a escuchar un poco el timbre del reloj y conforme se agrega más aire, se escuchará mejor, ver fig. 19. Por lo tanto el aire es el medio elástico que se necesita para transmitir el sonido.

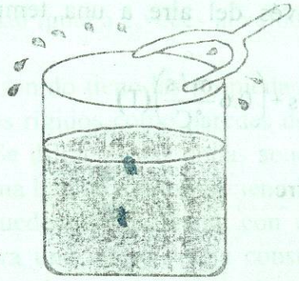

Figura 18. Salpicaduras del agua al introducir un diapasón vibrando.

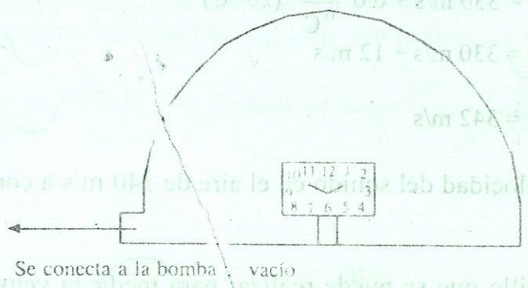

Figura 19. El timbre del reloj se escuchará cuando tenga aire la campana. El sonido no se propaga en el vacío.

El oído humano normal puede escuchar sonidos con frecuencia comprendida en el intervalo (audible) de 16 Hz a 20000 Hz. Si las ondas sonoras tienen una frecuencia menor a 16 Hz se le denomina infrasónicas. Si las ondas sonoras tienen una frecuencia mayor a 20000 Hz se denomina ultrasónicas.

2.- VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DEL SONIDO

Cuando observamos el destello de un relámpago, oímos después el trueno; si se observa a una persona a lo lejos hacer un golpe, un objeto, se oirá después el sonido causado, debido a que la velocidad de la luz es mayor (3×10^8 m/s) que la velocidad del sonido (340 m/s en el aire).

La velocidad del sonido es mayor en los sólidos (alrededor de 5000 m por segundo en el hierro) es menor en los líquidos (alrededor de 1500m por segundo en el agua) y mucho menor en los gases. En el aire el sonido viaja a 330 m/s a T = 0 °C, al aumentar la temperatura del aire, también aumenta la velocidad del sonido, alrededor de 0.6 m por segundo cada °C.

La velocidad del sonido a través del aire a una temperatura T puede calcularse a partir de

$$\upsilon = 330\ m/s + \left(0.6\frac{m/s}{°C}\right)(T)$$

donde T es la temperatura en °C del aire.

Veamos el siguiente ejemplo

Ejemplo 1. Calcular la velocidad del sonido en el aire a una temperatura de 20°C.

$\upsilon = 330$ m/s $\qquad \upsilon = 330\ m/s + 0.6\ \frac{m/s}{°C}\ (20\ °C)$

T = 20°C $\qquad \upsilon = 330\ m/s + 12\ m/s$

$\upsilon = 342$ m/s

Consideraremos la velocidad del sonido en el aire de 340 m/s a condiciones normales.

Un experimento sencillo que se puede realizar para medir la velocidad del sonido es colocándose una persona a 1 Km de distancia con una pistola (usada para las marcas de salida en pruebas atléticas) con cartuchos de salva para poder ver el fogonazo y medir el tiempo que tarda el sonido en llegar se repite el experimento 3 veces para obtener el tiempo promedio, con la fórmula de $\upsilon = d / t$ se obtiene un valor muy aproximado al valor teórico de la velocidad del sonido. Se puede usar el sonido para calcular la profundidad de un desfiladero, si se mide el tiempo que tarda un sonido (aplaudir, gritar) en recorrer la distancia hasta el fondo y regresar.

Los barcos usan el aparato sonar para medir a que distancia se encuentran objetos abajo del agua, si se produce una señal sonora de frecuencia alta. A partir del tiempo entre la emisión de la señal y su regreso, se calcula la distancia al objeto. Cuando se utiliza para medir la profundidad, a menudo se le da el nombre de sonda acústica.

Los cohetes y aviones de propulsión a chorro tienen velocidades mayores que la velocidad del sonido. A veces su velocidad se mide en "número de mach". El número de mach de un objeto se obtiene al dividir su velocidad entre la

velocidad del sonido en el aire. Si su velocidad fuera mach 2, significa que el objeto viaja con una velocidad igual a 2 veces la velocidad del sonido en el aire.

Por su naturaleza el sonido tiene las propiedades de las ondas. Se reflejan las ondas sonoras en objetos rígidos como paredes de una habitación, llamándose eco al reflejo del sonido. Se difractan las ondas sonoras a través de una abertura pequeña (una ventana) de una habitación, esparciéndose el sonido. La interferencia de dos ondas de sonido puede ejemplificarse con dos bocinas colocadas como muestra la figura 20a, para una interferencia constructiva, se escuchará mejor. Para una interferencia destructiva, se escucha menor o no se escucha, ver figura 20b.

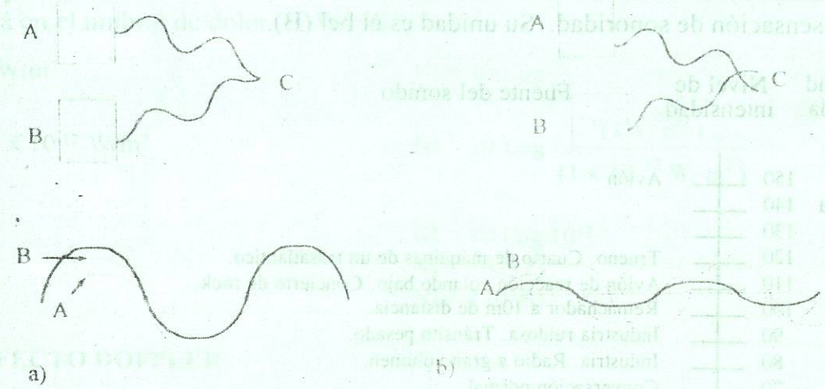

Figura 20. Las bocinas A y B interfieren en sus ondas sonoras. a) constructivamente b) destructivamente. La línea continua representa el sonido resultante.

El oído humano detecta las características de las ondas sonoras y se conocen como: tono, timbre y sonoridad.

El tono es la frecuencia de la onda, es decir a mayor frecuencia el sonido es más alto o agudo, a menor frecuencia el sonido es más bajo o grave.

El timbre es la calidad de las ondas sonoras (combinación de frecuencias) y es característico de cada instrumento o de cada persona.

La sonoridad o intensidad describe la amplitud de la onda, se mide en decibeles y determina si un sonido es fuerte o débil.

La intensidad (I) de la onda es la relación de la potencia por unidad de área y expresa el flujo de transferencia de energía acústica a través de un área de sección transversal a la dirección de propagación. Sus unidades en el Sistema Internacional de la potencia son watts (W) y el área en metros cuadrados (m^2).

El intervalo de intensidad audible por el oído humano es entre 1 W/m^2 y 10^{-12} W/m^2, llamándose los extremos umbral de dolor y umbral audible, respectivamente. Si la intensidad es mayor a 1 W/m^2, el oído tiene una sensación dolorosa en lugar de captar las ondas de sonido, ver figura 21. Es frecuente que en Acústica al umbral audible lo nombren el cero estandard de la intensidad del sonido ($I_o = 10^{-12}$ W/m^2 para una frecuencia de 1000 Hz). *El nivel de intensidad (NI) es la medida de la intensidad del sonido en relación con el cero standard de la intensidad*, es decir, es el volumen sonoro con una escala arbitraria en relación con la sensación de sonoridad. Su unidad es el bel (B).

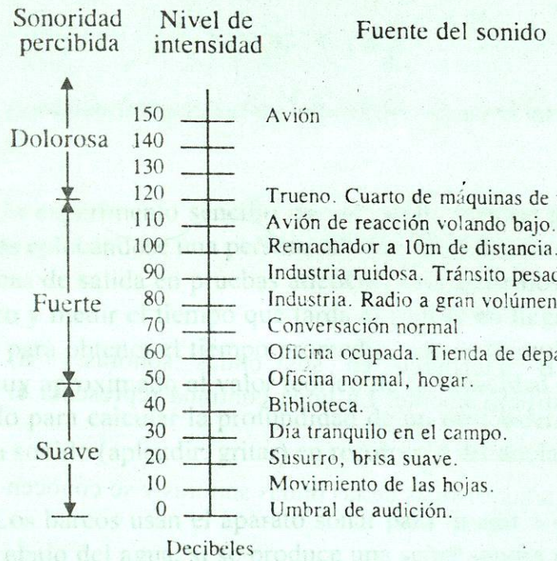

Figura 21. Niveles de intensidad de algunos sonidos.

Se representa el nivel de intensidad (NI) por la fórmula $NI = \text{Log}\frac{I}{I_o}$ en bel.

Por ser el bel una unidad grande, la unidad decibel es la más usada y 1 bel = 10 decibeles (dB), quedando

$NI = 10\text{Log}\frac{I}{I_o}$ en decibeles

Veamos los siguientes ejemplos.

Ejemplo 2. Si un sonido tiene una intensidad de 5×10^{-8} W/m^2. ¿Cuál es el nivel de intensidad en dB?

$I = 5 \times 10^{-8}$ W/m^2

$I_o = 1 \times 10^{-12}$ W/m^2

$$NI = 10\,\text{Log}\frac{I}{I_o}$$

$$NI = 10\,\text{Log}\frac{(5\times10^{-8}\,W/m^2)}{(1\times10^{-12}\,W/m^2)}$$

$$NI = 10\,\text{Log}\,(5\times10^{4}) = 10\,(4 + \text{Log}\,5)$$

$$NI = 10\,(4 + 0.699) = 46.99\ dB$$

Ejemplo 3. Calcular el nivel de intensidad en decibeles un sonido, si su intensidad está en el umbral de dolor (1 W/m^2).

$I = 1$ W/m^2

$I_o = 1 \times 10^{-12}$ W/m^2

$$NI = 10\,\text{Log}\frac{I}{I_o}$$

$$NI = 10\,\text{Log}\frac{(1\,W/m^2)}{(1\times10^{-12}\,W/m^2)}$$

$$NI = 10\,\text{Log}\,10^{12}$$

$$NI = 10\,(12)$$

$$NI = 120\ dB$$

3.- EFECTO DOPPLER

Si una fuente sonora está inmóvil y un observador (receptor) inmóvil también está a una cierta distancia, la frecuencia con la que percibirá las ondas el observador será la misma con la que fueron emitidas por la fuente. Si tomamos como ejemplo una sirena de una ambulancia y un observador que están inmóviles, la frecuencia del sonido emitido por la sirena es igual a la percibida por el observador durante el tiempo que permanezcan sin moverse, ver figura 22.

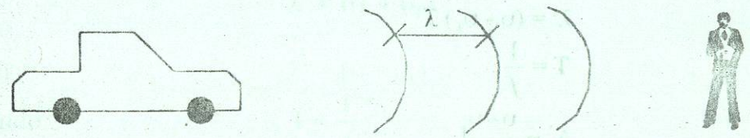

Figura 22. Primer caso. La fuente sonora y el receptor están inmóviles, la frecuencia de las ondas sonoras emitidas por la fuente es igual a la percibida por el observador.