3-10 FUENTES DEL SONIDO.

Todo el sonido proviene de un cuerpo en vibración, por ejemplo, una cuerda de piano o de guitarra. En ellas puede verse como una línea borrosa cuando son accionadas, indicando que vibran. También podemos darnos cuenta que la voz es un sonido, por lo tanto, será producido por un cuerpo en vibración. En esta caso el cuerpo en vibración serán las cuerdas bucales.

En los ejemplos anteriores los cuerpos en vibración son las *fuentes de sonido*. Pero no sólo los cuerpos sólidos producen sonido. En el tubo de un órgano musical o en un silbato vibra una columna de aire y aquí el aire en vibración será la fuente de sonido. Algunas veces las vibraciones producidas por la fuente de sonido son ondas simples o muy sencillas que se pueden considerar como del movimiento armónico simple, pero existen ondas producidas por la fuente que son muy complicadas y para facilitar su estudio se pueden descomponer en odas de movimiento armónico simple.

3-11 TRANSMISIÓN DEL SONIDO.

La transmisión del sonido desde un lugar a otro, requiere de un medio material que lo propague; este medio puede ser cualquiera de los tres estados de la materia. Esto se puede demostrar con un ejemplo sencillo. Se coloca un timbre eléctrico en el interior de un recipiente de vacío, a medida que el aire es extraído lentamente, el sonido se recibe con menor intensidad y así se va reduciendo el sonido cada vez más hasta que al obtenerse un buen vacío, entonces, cesará el sonido y nunca podrá escucharse. (Ver la figura 10.

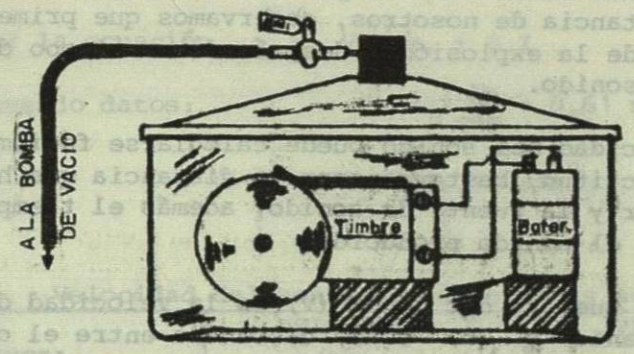

Fig. 10.

Si abrimos una válvula para que entre aire, el sonido empezará a escucharse de nuevo. Esto se debe a que las moléculas de aire chocan con el metal, estas moléculas chocan con las moléculas adyacentes y éstas a su vez, con otras moléculas del aire. Al llegar a las paredes, las moléculas transmiten el movimiento al recipiente, el cual se pone a vibrar. Esta vibración es transmitida a su vez al aire que rodea al recipiente y al llegar éste al oído del observador, golpea al tímpano y lo pone en movimiento.

Al transmitir la vibración del timbre a las moléculas de aire, éstas obtienen una energía mecánica en forma de pulso. Éstas a su vez transmiten su energía mecánica a otras, y éstas a otras a su vez. Las vibraciones son transmitidas de un medio a otro por medio de ondas mecánicas llamadas *ondas sonoras*.

Las ondas sonoras, ya sea que se propaguen en sólidos, líquidos o gases, son de carácter longitudinal, por eso la energía es transmitida de molécula en molécula, como compresiones y rarefacciones que avanzan a través del medio.

3-12 VELOCIDAD DEL SONIDO.

Cuando oímos a una persona, creemos que el sonido es instantáneo, porque apenas mueve los labios, y el sonido llega a nuestros oídos. Analizando otros fenómenos nos damos cuenta de que nuestro punto de vista es incorrecto. Por

ejemplo, cuando observamos un petardo que explota en el cielo a cierta distancia de nosotros, observamos que primero llega el destello de la explosión y después de un tiempo determinado llega el sonido.

La velocidad del sonido puede calcularse fácilmente y con gran exactitud, basta conocer la distancia que hay entre el observador y la fuente de sonido, además el tiempo que tarda en llegar el sonido producido.

Sabemos que V= d/t donde (V) es la velocidad del sonido que es constante y (d) es la distancia entre el observador y la fuente, (t) es el tiempo transcurrido para que llegue el sonido al observador. La velocidad del sonido varía también con la temperatura del medio ambiente. Esta variación se puede medir, ya que por cada grado de elevación de la temperatura la velocidad en el aire aumenta a razón de 0.61 m/seg por cada °C. La fórmula que sirve para calcular la variación de la velocidad es:

$$\boxed{V = v_o + \psi \tau} \qquad (8)$$

donde V es la velocidad final del sonido, v_o es la velocidad del sonido en el aire en m/seg a 0°C, τ es la temperatura en grados centígrados y ψ es la constante de variación de 0.61 m/seg °C.

Como regla general, el sonido se propaga más rápidamente en sólidos y líquidos que en los gases. Esto se ilustra por las velocidades medias en laboratorios para varias sustancias que se indican en la tabla 1.

Ejemplo 6. Un vehículo que se encuentra estacionado en una carretera, acciona su claxon. Si la temperatura es de 38°C, ¿a qué velocidad viajará el sonido?

Solución:

Tenemos como datos la velocidad del sonido en el aire a 0°C y la temperatura del medio ambiente = 38°C.

Por la ecuación $V = v_o + \psi \tau$

sustituyendo datos: $= 331 \frac{m}{seg} + 0.61$ m/seg°C(38°C)

$= 354.18$ m/seg

TABLA 1. Velocidad del sonido en diferentes sustancias.

SUSTANCIA	VELOCIDAD m/seg	VELOCIDAD Km/hr
Aire (a 0°C)	331	1191.6
Hidrógeno	1269	4568.4
Agua	1435	5166
Alcohol	1215	4374
Hierro	5132	18475
Acero (a 20°C)	4990	17964
Vidrio	5000	18000

Ejemplo 7. En una noche de lluvia se observó el destello de un relámpago y escuchó el estruendo 15 segundos después. Calcular la velocidad con que viajó el sonido si la temperatura era de 20°C y la distancia a la que cayó el rayo.

Solución:

a) Por la ecuación 8, tenemos:

$V = v_o + \psi \tau$

$= 331$ m/seg + 0.61m/seg°Cx20°C

$= 343.2$ m/seg

b) Como ya sabemos la velocidad a la temperatura de 20°C, y sabemos también que la velocidad a la que viaja el sonido es constante, podemos calcular la distancia por medio de la ecuación:

$$\boxed{d = vt} \qquad (9)$$

$$= 343.2 \text{ m/seg} \times 15 \text{ seg}$$

$$= 5148$$

o sea, que el rayo cayó a una distancia de 5.148 Km del observador.

Ejemplo 8. Dos buzos se encuentran bajo el agua separados una distancia de 600 m. Uno de ellos golpea una piedra con otra para producir un sonido. Calcular el tiempo que tardará en llegar al otro buzo.

Solución:

Por la ecuación 9, tenemos:

$$d = vt$$

despejando: $t = d/v$

Y de la tabla 1, "V" en el agua = 1435 m/seg)

$$= \frac{600 \text{ m}}{1435 \text{ m/seg}}$$

$$= 0.418 \text{ seg}$$

3-13 DIFRACCIÓN Y RAREFACCIÓN DEL SONIDO.

Las ondas características de las notas de tonos altos tienden a viajar en línea recta; sin embargo, los sonidos de tonos bajos de las ondas más largas, tienden a curvarse en las esquinas, a este efecto se le llama *difracción*.

Es muy notable donde se toca un conjunto de campanas, al dar una vuelta en un edificio cercano, se aprecia muy bien una reducción brusca de la intensidad de sonido en las campanas de tono alto, mientras que las campanas de tono bajo continúan escuchándose normalmente.

La desviación de las ondas sonoras en las capas de aire a diferente temperatura se llama *refracción*. Este fenómeno se puede observar de diferentes maneras y se debe a la mayor velocidad del sonido en aire caliente que en el frío. Por este motivo, los sonidos se escuchan más fuertes en la noche cuando el aire se enfría, quedando en la parte de arriba las capas de aire caliente tal como se muestra en la figura 9.

Observando la siguiente figura, vemos que al pasear en lancha por un lago o un río, la música de un radio se puede escuchar de noche, pero no de día. Esto se debe a que por las noches el aire cercano al agua está más frío que el situado más arriba, que al estar caliente refracta o desvía las ondas sonoras hacia abajo. De día sucede lo contrario, el aire caliente cercano al agua refracta las ondas sonoras hacia arriba, como se muestra.

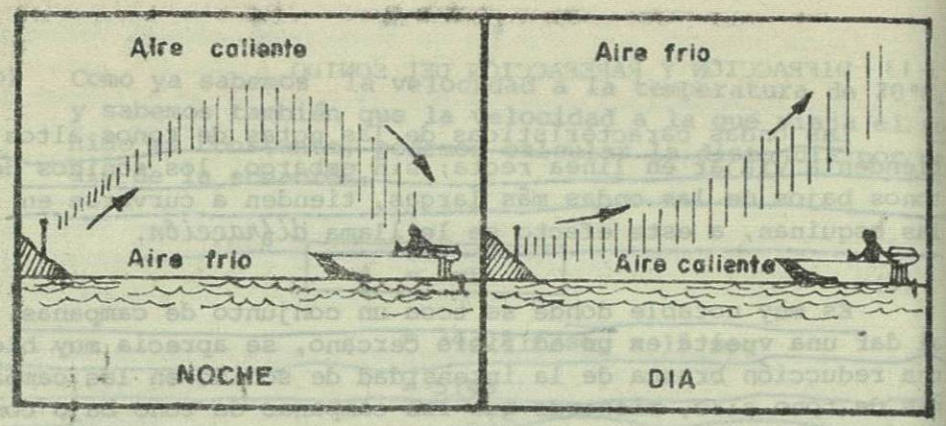

Fig. 11.

3-14 INTENSIDAD DEL SONIDO.

Existen tres características fundamentales de todos los sonidos:

OBJETIVA	SUBJETIVA
Intensidad	Sonoridad
Frecuencia	Tono
Forma de la onda	Timbre

La *intensidad* del sonido está caracterizada por la sonoridad y se mide por la cantidad de energía en un volumen dado de espacio donde se propaga el sonido. Expresado en forma diferente: las ondas constituyen un flujo de energía a través de la materia.

La *sonoridad* es una medida subjetiva de la potencia del sonido y por lo tanto, es una magnitud sensorial. Por otra parte la intensidad es una medida objetiva de la potencia liberada del sonido.

La intensidad está definida como *la potencia que fluye a través de la unidad de superficie tomada normal a la dirección de las ondas.*

El oído humano puede escuchar sonidos que varían desde 20 cps hasta 20000 cps (cps= ciclos por segundo). Este valor da una idea de lo sensible que es el oído humano, pues percibe sonidos desde muy baja frecuencia hasta sonidos que producen una sensación dolorosa por su alta frecuencia. Cabe mencionar que los límites de audibilidad se refieren a la frecuencia de las ondas y no a su amplitud.

Cuando se grita en un juego de béisbol o fútbol, se necesita energía para producir los sonidos, tal como se gasta energía para correr, patear una pelota, pero gritar agota por sí mismo. ¿Cuánta energía se emplea en un buen grito? Los científicos han encontrado que con un grito se lanza una energía con una potencia de unos 0.001 (10^{-3}) watts. ¡Con esta proporción se necesitaría estar gritando sin parar unas 25,000 personas para mantener encendido un foco de 25 watts.

Conociendo la potencia relacionada con el sonido se confirma el hecho de que el oído humano es un instrumento admirable. La potencia sonora de un cuchicheo es la millonésima parte de la de un grito. Es tan sensible el oído humano que puede percibir incluso los murmullos.

3-15 LOS ESTAMPIDOS SUPERSÓNICOS.

Cuando un avión vuela sobre un observador que lo contempla desde el suelo, si viaja a mayor velocidad que la velocidad del sonido, el observador no lo oye acercarse, sino hasta después de que el avión ha pasado por encima de su cabeza empieza a percibir el sonido, después llegan dos violentos estampidos sónicos.

Los estampidos sónicos ocurren siempre que un avión "rompe la barrera del sonido." Esta barrera está tomada como la velocidad límite del sonido, o sea 340 m/seg. Cuando el avión se mueve a una velocidad mayor que la del sonido, se está moviendo más aprisa que la perturbación que se crea. Así, la perturbación sigue al avión y toma la forma de varias

ondas de choque, tal como se muestra en la figura 12.

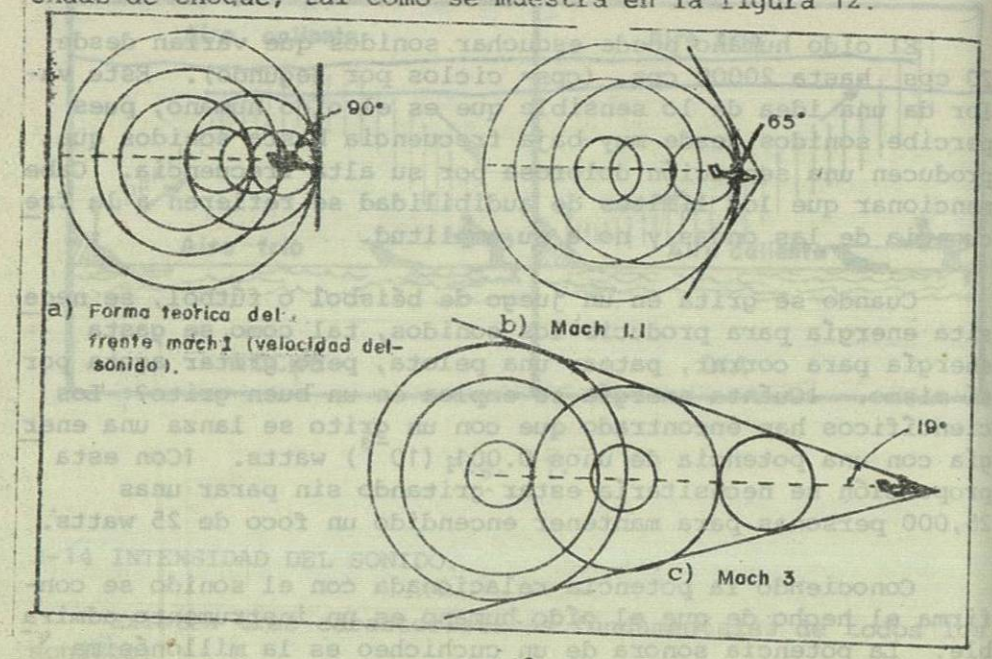

Fig. 12.

Las ondas de choque son producidas por la compresión del aire que está en la punta del avión, mientras el de la cola estará enrarecido. Esto sucede por muy aerodinámica que pueda ser su estructura. Las perturbaciones en los extremos son del mismo género que las perturbaciones sonoras.

Como regla general, siempre que el avión viaje a una velocidad mayor a la del sonido, el avión viajará delante de esa onda que él mismo produce, figuras 12b y 12c. Es por esto que en los aviones modernos primero se ve el cuerpo del avión, y después se escucha el sonido que él mismo produce. Si el cuerpo no viaja a la velocidad del sonido, viajará dentro de la onda producida, figura 12a.

La velocidad supersónica de los aviones es muy común expresarla en *números de Mach*, que es la relación que existe entre la velocidad de un cuerpo y la velocidad del sonido. Expresado matemáticamente:

$$\text{Número de Mach (N)} = \frac{\text{velocidad del cuerpo}}{\text{velocidad del sonido}}$$

$$\boxed{N = \frac{Vc}{Vs}} \qquad (10)$$

Ejemplo 9. Un avión lleva una velocidad de 3 Mach. Calcular la velocidad en m/seg y en Km/hr.

Solución:

Por la ecuación 10 tenemos:

$$Vc = NVs$$
$$= 3 \times 340 \text{ m/seg}$$
$$= 1020 \text{ m/seg}$$
$$= 3672 \text{ Km/hr.}$$

3-16 SONIDOS ULTRASÓNICOS.

En temas anteriores se estableció que la frecuencia es una propiedad de las ondas sonoras, ésta no depende de la localización del oyente o incluso si existe éste o no. El tono por otro lado es una característica psicológica sensorial. Si "no se tiene oído" para distinguir los tonos, de todas formas existirá la diferencia de frecuencia.

Se estableció que el oído humano puede distinguir desde 20 cps hasta 20000 cps, pero este límite va disminuyendo con la edad. Entre mayor sea la frecuencia del sonido se va perdiendo la capacidad de distinguir diferencias de tono.

A los sonidos que pasan del límite superior de audibilidad son llamados *sonidos ultrasónicos*.

Algunos animales pueden escuchar sonidos ultrasónicos. Por ejemplo: el perro, los ratones y el murciélago. Los murciélagos volando en la obscuridad evitan chocar con los objetos, emitiendo sonidos cortos de alta frecuencia. Al escuchar el eco de estos sonidos en los objetos próximos, los murciélagos pueden saber donde están dichos objetos y modificar su vuelo para eludirlos. Algunos cazadores usan silbatos de alta frecuencia para llamar a sus perros, éstos al escuchar obedecen, mientras las personas que están con el cazador, no escuchan nada.

Las ondas ultrasónicas tienen muchas aplicaciones prácticas. La onda de sonido producido por el equipo de sonar de algunos barcos y submarinos, posee una frecuencia de hasta 26000 cps, cuya longitud de onda llega a ser de pocos centímetros. En la industria se utiliza para limpiar los objetos delicados, como las piezas de reloj o para acelerar la limpieza de objetos muy grandes. En la medicina se emplean ultrasonidos que puedan variar mucho de frecuencia. Cuando se utilizan sonidos ultrasónicos "de débil frecuencia" (por abajo de los 35000 cps) el examen de ultrasonido es biológicamente inofensivo.

Al igual que en la radioscopía clásica, el examen ultrasónico requiere de un emisor y un receptor, así los sonidos emitidos por el emisor son reflejados de forma diferente por los huesos y diferentes músculos y fibras nerviosas o incluso cuerpos extraños alojados en el cuerpo, tales como balas, agujas, etc. Los ecos son recibidos por un micrófono especial y la señal es enviada a una pantalla de televisión. Así se obtiene una imagen ultrasónica, tan clara para los especialistas, como una radiografía.

Además el método ultrasónico es empleado también para tratamientos terapéuticos en algunas enfermedades rebeldes al tratamiento clásico.

En el hogar los ultrasonidos son empleados para abrir las puertas de cocheras desde el propio coche. También en algunas máquinas lava trastes, etc.

La física y las técnicas modernas tienen medios de producir "sonidos silenciosos" cuyas frecuencias son mucho mayores que las que se han mencionado anteriormente. El número de vibraciones de estos "ultrasonidos" puede llegar hasta 10^{14} por segundo. La frecuencia máxima que se ha conseguido obtener es igual, actualmente, a 10^{9} vibraciones por segundo.

Uno de los procedimientos para obtener vibraciones ultrasónicas se basa en la propiedad que tienen las láminas de cristal de cuarzo cortadas de una manera especial, de electrizarse superficialmente cuando se comprimen (piezo electricidad). Por el contrario, si las superficies de una de estas láminas se cargan periódicamente, bajo la acción de las cargas eléctricas la placa se contrae y se dilata sucesivamente, es decir, vibra. La lámina se carga con un generador de haz electrónico como los que se usan en radiotecnia cuya frecuencia se regula de acuerdo con el llamado período propio de las vibraciones de la lámina. Los cristales de cuarzo son fuentes de ultrasonido que resultan demasiado caras y poco potentes, por lo que se emplean principalmente en los laboratorios. En la técnica se emplean materiales sintéticos artificiales, como la cerámica de titanato de bario.

Aunque los ultrasonidos son silenciosos para nosotros, su acción se revela por medio de otras manifestaciones bastante apreciables. Así, por ejemplo, si una lámina vibrante se sumerge en una vasija de aceite, en la superficie del líquido sometido a las vibraciones ultrasonoras se levanta una prominencia de 10 cm de altura y las gotitas de aceite se proyectan hasta una altura de 40 cm. Si en este baño de aceite se introduce el extremo de un tubo de vidrio de un metro de largo sentiremos que la mano que sostiene el otro extremo se quema. En la piel quedarán huellas de esta quemadura. Si el extremo del tubo que se encuentra en estado vibratorio se pone en contacto con un trozo de madera, producirá en ella un orificio quemado. Tenemos, pues, que la energía del ultrasonido se transforma en calorífica.

El ultrasonido se está estudiando más minuciosamente. Estas vibraciones ejercen acciones muy enérgicas sobre los organismos vivos, las fibras de las algas se rompen, las