

CAPITULO IV

Reflexión del sonido. — Ondas estacionarias producidas por reflexión. — Refracción y difracción. — Eco y reverberación. — Absorción.

19. REFLEXION DEL SONIDO. — Cuando una onda que se propaga en un medio elástico incide sobre la superficie de separación entre éste y otro medio elástico cualquiera de diferente densidad, pueden ocurrir simultánea o sucesivamente varios fenómenos como ser: reflexión, refracción, difracción y absorción de la onda.

Se dice que ésta ha sufrido una reflexión cuando luego de incidir sobre una superficie, se propaga en el mismo medio con sentido diferente al anterior, como si se originara en un punto situado tras la superficie. Para que una superficie actúe como superficie reflectora, es necesario que sea opaca a la onda que refleja, o sea que impida parcial o totalmente su propagación. La energía de la onda no se conservará totalmente después de la reflexión, pues una parte se pierde por absorción transformándose en calor.

Al estudiar los fenómenos de propagación de las ondas sonoras haremos caso omiso de las ondas esféricas, considerando sólo una de las direcciones de propagación, simbolizada por un rayo. En la figura 10,

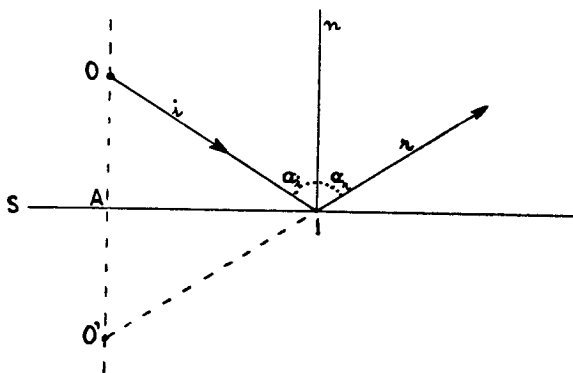


Fig. 10. — Reflexión de un rayo.

“i” es el rayo incidente, “r” el rayo reflejo, “I” el punto de incidencia y “n” la normal a la superficie reflectora en “I”. En toda reflexión la normal y los rayos incidente y reflejo estarán en un mismo plano y los ángulos de incidencia y de reflexión (“ α_i ” y “ α_r ”) serán iguales.

Cuando la longitud de onda de la onda incidente es despreciable comparada con las irregularidades de la superficie reflectora, la reflexión será regular. La reflexión será difusa cuando la longitud de onda de la onda incidente y las irregularidades de la superficie reflectora sean comparables (fig. 11).

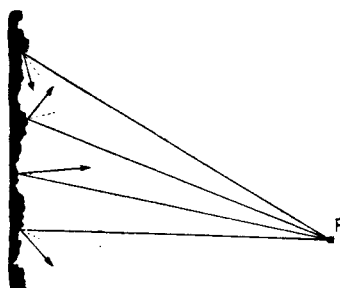


Fig. 11. — Reflexión difusa.

La densidad del medio reflector influye sobre la reflexión; si es mayor que la del medio primitivo, la onda refleja sufre un retraso de fase de medio período con respecto a la onda incidente, mientras que si la densidad del medio reflector es menor que la del medio primitivo, la onda refleja continúa exactamente la onda incidente, sin retraso de fase ni otro cambio que el de dirección (cuando la onda incide normalmente sobre la superficie reflectora, no cambia de dirección pero sí de sentido).

Las ondas que inciden sobre una superficie plana se reflejan en direcciones divergentes. Cuando la superficie reflectora es elíptica, las ondas que parten desde uno de los focos de la elipse, se reflejan pasando por el otro; si la superficie es parabólica, las ondas que parten del foco se reflejan paralelamente al eje de la parábola.

20. ONDAS ESTACIONARIAS PRODUCIDAS POR REFLEXION. — Entre una onda y su reflexión sobre una superficie cualquiera, pueden producirse ondas estacionarias, siempre que la distancia entre la superficie reflectora y el foco de donde provienen las ondas directas sea un múltiplo entero de la semilongitud de onda y que la reflexión se produzca normalmente a la superficie reflectora para que coincida la dirección de ambas ondas.

La existencia de las ondas estacionarias por reflexión se demuestra fácilmente mediante un silbato construído con una embocadura de madera y un tubo de vidrio de unos 40 cms. de largo por 3 cms. de diámetro. Si en el interior del tubo se colocan pequeños granos de licopodio,

éste mostrará mientras suena el silbato, zonas de gran agitación y otras de tranquilidad que corresponden respectivamente a los vientres y a los nodos. Al cesar el sonido, podrá observarse que el licopodio se ha dispuesto en pequeños montículos equidistantes que corresponden a los nodos, pues las partículas tienden a acumularse donde no hay movimiento. La distancia entre la cima de dos montículos consecutivos será exactamente $\lambda/2$ (media longitud de onda).

21. REFRACCION Y DIFRACCION. — Cuando una onda que se propaga en un medio elástico incide oblicuamente sobre la superficie de separación de éste con un segundo medio y la atraviesa cambiando de dirección, decimos que ha sufrido una *refracción*. Este fenómeno ocurre precisamente porque la onda incide oblicuamente sobre la superficie (los rayos normales a dicha superficie no se refractan); en efecto, una parte de la onda penetra antes que la otra en el segundo medio, cambiando su velocidad de propagación; si la velocidad de propagación es mayor en el segundo medio que en el primero, la onda se alejará de la normal en el punto de incidencia, ocurriendo lo contrario cuando dicha velocidad sea menor.

El rayo incidente, la normal a la superficie refringente en el punto de incidencia y el rayo refractado estarán en un mismo plano, denominándose ángulo de refracción el ángulo formado por el rayo refractado con la normal.

Sobre una planicie nevada pueden oírse sonidos producidos a gran distancia debido a que el aire sobre ella forma capas de diferentes temperaturas, estando las más frías próximas al suelo; como en éstas la velocidad del sonido es menor, es constantemente refractado hacia la tierra. En las salas de espectáculo ocupadas, ocurre lo contrario: el sonido tiende a subir debido a la refracción producida por el aire en torno a los espectadores, cuya temperatura es mayor que la del aire situado a mayor altura.

Cuando una onda incide sobre una superficie en la cual hay una abertura, pueden ocurrir dos cosas: si la abertura es grande con relación a la longitud de onda, ésta pasa sin dispersarse; en cambio si la abertura es pequeña con relación a la longitud de onda, la onda se dispersará al pasar a través de la abertura propagándose luego como si se hubiera originado en la misma. Este fenómeno se llama *difracción*.

La difracción ocurre con cualquier tipo de ondas, pero interesa particularmente en acústica musical, pues los sonidos musicales poseen longitudes de onda relativamente grandes que varían entre 0,03 y 12 m., siendo por lo tanto muy difractables. Es evidente que para sonidos graves producidos en un altoparlante de 30 cm. de diámetro, la difracción será considerable. Los espectadores situados en la dirección del eje principal del altoparlante escucharán igualmente todas las frecuencias mientras que los que se hallan al costado percibirán excesivamente los sonidos graves.

22. ECO Y REVERBERACION. — Llábase *eco* el fenómeno que consiste en escuchar un sonido reflejado después de haberse extinguido la sensación sonora producida por la onda directa que originó dicha onda refleja. El oído distingue como sensaciones separadas sólo aquellas que ocurren con un intervalo de tiempo mayor de un décimo de segundo. En este tiempo el sonido recorrerá aproximadamente 34 m.; será por lo tanto necesario, cuando haya una sola superficie reflectora, que ésta se halle a una distancia mínima de 17 m. y que la onda incidente sea normal a la superficie reflectora, pues de otro modo la onda refleja no volvería a la fuente.

Cuando un sonido único tiene varios ecos sucesivos, se dice que hay eco múltiple. Proviene de la presencia de varias superficies reflectoras a distancias diferentes.

Se dice que hay eco plurisilabo, cuando el eco reproduce varios sonidos sucesivos o palabras de dos o más sílabas. En un segundo pueden pronunciarse tres sílabas, con lo cual corresponderá a cada una un tercio de segundo aproximadamente. Durante este tiempo podrá el sonido recorrer 112 m., por lo cual en el caso de una reflexión normal a la superficie reflectora, ésta debe hallarse a 56 m. como mínimo. Dividiendo la distancia entre la fuente sonora y la superficie reflectora por 56, obtendremos el número de sílabas que podrá reproducir dicho eco.

Cuando una onda sonora refleja llega al oído del observador en un lapso de tiempo menor que un décimo de segundo después que ha cesado de escucharse la onda directa de la cual proviene, ambos sonidos se superponen para el oyente, produciéndose el fenómeno de la *reverberación* (llamado a veces, aunque impropriamente, resonancia). Este fenómeno es de suma importancia pues debidamente controlado contribuye a mejorar las condiciones acústicas de teatros, salas de concierto, etc.

23. ABSORCION. — Se llama *absorción* del sonido el fenómeno por el cual una onda sonora incidente sobre una superficie reflectora pierde parte de su energía, transformándose ésta en trabajo y en calor.

El poder absorbente de los diversos cuerpos depende principalmente de su estructura; los cuerpos porosos: celotex, cortinados, filtros y cuerpos similares, tienen un alto poder absorbente, ocurriendo lo contrario con los cuerpos compactos: mármol, metales, mosaicos, etc. La determinación de dicho poder se efectúa por comparación entre la absorción presentada por una superficie dada del material cuyo poder absorbente se mide y una abertura de igual superficie, que naturalmente absorbe todo el sonido que sobre ella incide. Se obtienen los así llamados *coeficientes de absorción* de cada material. La unidad de poder absorbente es el "sabin", llamada así en honor de W. C. Sabine quien realizó profundos estudios sobre acústica de las salas¹.

¹ Véase apéndice I.

Los sonidos agudos son absorbidos mucho más que los graves. Este hecho es de gran importancia en las salas de concierto donde a veces experimenta el sonido múltiples reflexiones, persistiendo desproporcionadamente los sonidos graves. Después de cuatro reflexiones sobre una superficie recubierta con lona, un DO_2 quedará reducido al 66 % de su energía inicial, mientras que un DO_7 queda reducido solamente al 18 % de su energía inicial.