

Véase cómo los efectuaron:

Los observadores se habían apostado en dos barcas, una amarrada en Thonón y otra en la opuesta orilla del lago. Producía el sonido un martillazo descargado en una campana que pesaba 65 kilogramos y sumergida en el agua; en la otra estación, una trompeta acústica de ancho pabellón recibía también en el agua y en una placa metálica puesta en su abertura el sonido propagado por la masa líquida. El observador que aplicaba el oído á la abertura de la trompeta iba provisto de un cronómetro ó contador que marcaba con precisión los segundos y fracciones de segundo.

Conocía el momento preciso de la percusión de la campana por la luz que producía la inflamación de un montoncito de pólvora al que prendía fuego una mecha atada al martillo á modo de palanca.

Las figuras 251 y 252 harán comprender el mecanismo de este aparato, dispensándonos de describirlo más detalladamente.

El sonido recorrió en 9^s,4 la distancia entre ambas estaciones, que era de 13,487 metros, lo cual da 1,435 metros como velocidad de aquél en el agua á 8^o,1 centígrados de temperatura: ya hemos visto que á esta temperatura la velocidad del sonido en el aire libre es de 335^m,64. La experiencia demuestra también que el sonido se mueve 4 ¹/₄ veces más de prisa en el agua dulce que en el aire.

El último día de los experimentos, el agua del lago estaba agitada; pero esta agitación no influyó de un modo apreciable en la rapidez de transmisión del sonido.

Tanto en uno como en otro experimento las ondas sonoras se propagaron en una masa líquida ilimitada.

Wertheim ha demostrado que el sonido debe moverse más despacio en una columna ó en una red cilíndrica, siendo la primera velocidad igual á la segunda multiplicada por 1,225. Otros delicadísimos experimentos, hechos por un método que no podemos describir aquí, le han dado los resultados que estampamos á continuación.

VELOCIDAD DEL SONIDO

	Temperatura	En un chorro líquido	En una masa ilimitada
Agua del Sena.	15 ^o	1173 ^m	1437 ^m
—	30	1251	1527
—	60	1408	1725
Agua de mar.	20	1187	1454
Alcohol común á 36 ^o	20	1050	1286
Eter sulfúrico.	0	946	1159

En un mismo líquido, lo propio que en el aire, la velocidad del sonido aumenta con la temperatura.

VII

VELOCIDAD DEL SONIDO EN LOS SÓLIDOS

Esta velocidad, mayor ya en los líquidos que en el aire y en los demás gases, lo es todavía más en los medios sólidos. Según creemos, Hassenfratz fué el que hizo las primeras tentativas para determinar esta última, según lo que expone Haüy en su *Tra- tado de física*.

“Habiendo bajado Hassenfratz á una de las canteras de París, encargó á otra persona que diera un martillazo en una masa de piedra que forma la pared de una de las varias galerías practicadas en medio de las canteras. Mientras tanto, él se iba alejando poco á poco del sitio donde se había descargado el martillazo, aplicando el oído á la masa de piedra, y en breve percibió dos sonidos, uno de ellos transmitido por la piedra y el otro por el aire. Oíase el primero mucho más pronto que el otro; pero también se debilitaba con mayor prontitud á medida que el observador se alejaba, de suerte que éste dejó de percibirlo á los ciento treinta y cuatro pasos de distancia, mientras que aquel al cual servía el aire de vehículo no se extinguió hasta los cuatrocientos.

„Otros cuerpos de distinta naturaleza, como vallas de madera y barras de hierro puestas punta con punta en una longitud más ó menos considerable han dado análogos resultados, con la diferencia de que el sonido propagado por la madera recorría un intervalo mucho mayor que el transmitido por el aire antes de llegar al término en que el oído dejaba de percibirlo, lo cual era precisamente lo contrario del efecto producido por el aire y la piedra. El mismo físico ha notado además que la transmisión del sonido á través de los cuerpos sólidos no tan sólo es más rápida por lo general que la que tiene el aire por intermediario, sino que se efectúa en un espacio de tiempo inapreciable, por lo menos en lo que respecta á las distancias á que circunscribió sus experimentos, la mayor de las cuales era de ciento diez pasos.,,

Biot hizo estudios parecidos, pero en una longitud mayor y con medios más precisos. Aprovechó al efecto de la larga columna formada por la cañería que lleva las aguas del Sena desde Marly hasta el acueducto de Luciennes, y 376 de los cuales ocupaban una extensión total de 951^m,2. Véase cómo ha descrito el mismo Biot su experimento:

“Adaptábase á uno de los orificios de esta cañería una argolla de hierro del mismo diámetro que ella, con un timbre en su centro y un martillo que se podía dejar caer sobre él cuando se quisiera. Al dar el martillo en el timbre daba también en el tubo con el cual estaba en comunicación mediante el contacto de la argolla, y por consiguiente, situándose un observador al otro extremo de la cañería, debía percibir dos sonidos, uno transmitido por el metal del tubo y el otro por el aire, y en efecto, se los oía distintamente aplicando el oído á los tubos, y hasta sin necesidad de aplicarlo. El primer sonido, más rápido, lo transmitía el cuerpo de los tubos, y el segundo el aire. Varios martillazos descargados sobre el último tubo producían también esta doble transmisión. Observábase rigurosamente con cronómetros de medios segundos el intervalo que transcurría entre dos sonidos transmitidos. De estos experimentos ha resultado que el metal transmite el sonido 10 ¹/₂ veces más de prisa que el aire.,,

En efecto, hubo un intervalo de 2^s,53 entre los dos sonidos transmitidos, siendo la velocidad del sonido en el aire de 340^m,03. Mas debe advertirse que, componiéndose la cañería de muchos centenares de tubos unidos por discos de materias diferentes, aquella cifra no podía representar exactamente la velocidad del sonido en el metal.

La velocidad del sonido en los sólidos es fácil de calcular indirectamente por consideraciones teóricas, como la velocidad en los líquidos, ya averiguando el coeficiente de elasticidad del cuerpo, ó ya por el método llamado de las *vibraciones*. Valiéndose Laplace del primero, dedujo que la velocidad del sonido en el latón era 10 ¹/₂ veces igual á la del mismo en el aire. Chladni calculó por el segundo método dicha velocidad en varios metales, en el vidrio y en un gran número de especies de madera. Wertheim determinó luego este valor en muchos cuerpos sólidos. Más adelante presentamos un cuadro de algunos de los resultados obtenidos.

Pero también se han hecho otras mediciones directamente. Wertheim y Breguet midieron en 1851 la velocidad del sonido en los alambres de hierro telegráficos del ferrocarril de Versalles: el sonido recorrió en 1^s,2 la longitud de 4,067^m,2, lo cual corresponde á una velocidad de 3,485 metros por segundo, unas diez veces más que en el aire; mas por el método de Chladni resultaba dicha velocidad 16 veces mayor, y el de las vibraciones hubiera dado 4,634 metros, es decir, 14 veces: ignórase la causa de estas anomalías.

Terminaremos este capítulo con algunas cifras tomadas de Chladni y de Wertheim y que representan la velocidad del sonido en cierto número de cuerpos sólidos, tomando por unidad la misma en el aire (1); las tres últimas columnas la representan á diferente temperatura. Esta ejerce también su influencia en la velocidad del sonido en los metales; mas, al contrario de lo que sucede con los líquidos y los gases, el aumento de calor disminuye la velocidad, excepción hecha del hierro entre 20° y 100°. Y es que el calor disminuye por lo regular la elasticidad de los metales, al paso que aumenta la de los líquidos y gases. La excepción del hierro consiste probablemente en su estructura molecular especial, y así parece probarlo el que los hierros de varias procedencias, los alambres de hierro ó de acero, el acero fundido, no ofrecen el mismo carácter bajo este punto de vista.

La elasticidad de las maderas varía según la dirección de las fibras leñosas ó de las capas; es mucho mayor en la dirección de las fibras que en la perpendicular, y en este último sentido lo es aún más en dirección transversal á las capas que en la de las capas mismas. Lo propio acontece respecto de la velocidad del sonido, conforme lo demuestra el siguiente cuadro y según resulta de los delicados experimentos hechos por Wertheim.

VELOCIDAD DEL SONIDO EN VARIOS CUERPOS SÓLIDOS

	Según Chladni	Según Wertheim	A 20°	A 100°	A 200°
Plomo.	"	4,0	1230 ^m	1200 ^m	"
Oro.	"	6,4	1740	1720	1735 ^m
Estaño.	7,5	7,5	2550	"	"
Plata.	9,0	8,0	2710	2640	2480
Platino.	"	8,5	2690	2570	2460
Cobre.	"	11,2	3560	3290	2950
Zinc.	"	11,0	3740	"	"
Hierro.	16,6	15,4	5130	5300	4720
Acero fundido.	16,6	15,0	4990	4925	4790
Alambre de hierro.	"	15,5	4920	5100	"
Alambre de acero.	"	15,0	4880	5000	"

VELOCIDAD DEL SONIDO EN VARIAS MADERAS

	En dirección de las fibras	Transversal á las capas	En dirección de las capas
Abeto.	4640 ^m	1335 ^m	784 ^m
Haya.	3340	1840	1415
Roble.	3850	1535	1290
Alamo.	4280	1400	1050

(1) Las cifras de las dos primeras columnas son las velocidades expresadas en función de la del sonido en el aire; las otras columnas representan estas velocidades en metros.

VELOCIDAD DEL SONIDO EN ALGUNOS OTROS SÓLIDOS

Cristal de lunas.	19 veces la velocidad en el aire ó 5440 ^m
Cristal de tubos.	12 — — — — — ó 4080

Vese en resumen que de todas las substancias que pueden servir de vehículos al sonido, aquellas en que se propaga con mayor rapidez son: el hidrógeno entre los gases, el agua de mar entre los líquidos, el hierro entre los metales, y el vidrio y la madera de abeto entre los sólidos. Este último es el que predominaría si se adoptase la cifra de Chladni, el cual considera la velocidad del sonido en la madera de abeto equivalente á 18 veces la que tiene en el aire. Según los cuadros anteriores, el hierro es el que ocupa el primer lugar entre los sólidos por este concepto.

CAPÍTULO III

REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN SONORAS

I

ECOS Y RESONANCIAS

Sabemos que la luz y el calor se propagan á la vez, directamente por radiación, é indirectamente por reflexión. Además, cuando la propagación se efectúa en medios de diferente constitución molecular y densidad, la dirección de las ondas luminosas y caloríficas sufre una desviación particular, conocida por los físicos con el nombre de *refracción*.

En el sonido, lo mismo que en el calor y la luz, se presentan también los fenómenos de reflexión y refracción, obedeciendo casi á las mismas leyes.

Cualquiera puede cerciorarse mediante observaciones familiares de que el sonido se refleja cuando, al propagarse por el aire ó por cualquier otro medio, tropieza con un obstáculo. Y en efecto, los ecos y las resonancias son fenómenos ocasionados por la reflexión del sonido. Cuando estamos en una habitación de dimensiones algo grandes, y en cuyas paredes no hay objetos que apaguen el sonido, la voz resulta reforzada, y el ruido de los pasos ó el del choque de los cuerpos sonoros resuena con mayor intensidad. En un salón espacioso, las palabras parecen duplicarse, lo cual suele hacerlas confusas y difíciles de oír distintamente. Este refuerzo de los sonidos, originado en este caso por la reflexión en las paredes y en general por la del sonido en un plano ó en una superficie cualquiera, es lo que se llama *resonancia*.

Si la distancia del observador á la pared reflectora excede de 20 metros, percibe de nuevo con claridad cada una de las sílabas que pronuncia: este fenómeno es el del *eco sencillo*; pero cuando cada sílaba resulta repetida dos ó muchas veces, el eco es *múltiple*.

Veamos cuáles son las razones físicas de estos fenómenos.

Por breve que sea la duración de un sonido, persiste algún tiempo la sensación que produce en el oído del observador, $\frac{1}{10}$ de segundo poco más ó menos. Durante este tiempo, el sonido recorre unos 34 metros, de suerte que si la distancia A O del obser-