

tíficas; pero habiendo un límite en el cual la vida es imposible, como lo han comprobado Coxwel y G. Asher en su célebre ascensión de 1864, y Gastón Tissandier en la terrible ascensión del globo *Zenith*, hubo necesidad de buscar algún medio para poder investigar regiones aéreas muy elevadas, sin poner en peligro la vida del hombre. El problema lo resolvió los Sres. Hermite y Besançon, soltando globos libres que han recibido el nombre popular de *globos sondas* y que llevan instrumentos registrados encargados de marcar automáticamente las variaciones de la temperatura, presión, humedad, etc.

En el mes de Marzo de 1892, los entusiastas investigadores comenzaron á soltar globitos desde el balcón del departamento que ocupaban en el cuartel de Sebastopol. Poco después soltaron globos más grandes provistos de registradores especiales. Actualmente los principales observatorios de Europa cuentan con un servicio especial de *globos sondas*. Los resultados obtenidos han sido muy satisfactorios. Por ejemplo, un globo sonda que alcanzó 10,000 metros de altura, registró una temperatura de *abajo de cero*; otro que llegó á 12,000 metros registró *57° bajo cero*, y otro que subió hasta 15,000, registró *64° bajo cero*. Á esta altura la presión atmosférica era apenas de 140 milímetros.

Los globos sondas tienen que prestar aún muchos buenos servicios á la Física y á la Meteorología.

(\*) Véase «Los fenómenos del aire» por Luis G. León, 1900.

## CAPÍTULO V

### ACÚSTICA

SUMARIO.—Producción del sonido.—Su propagación y velocidad.—Reflexión, eco.—Calidades del sonido.—La sirena y el método gráfico.—El fonógrafo y sus aplicaciones.—Cuerdas, varillas, tubos y placas.—Teoría física de la música.

88. La *Acústica* es la parte de la Física que se ocupa de estudiar las cualidades del sonido.

El sonido es la sensación que resulta de la impresión producida en el oído por un movimiento vibratorio excitado en un cuerpo elástico.

El movimiento vibratorio, que es análogo al movimiento pendular, es aquel en que el cuerpo separado de su posición de equilibrio la recobra después de una serie de oscilaciones.

Si restiramos entre dos puntos una cuerda de violín y la separamos de su posición de equilibrio, escuchamos un sonido y al mismo tiempo, como resultado de la persistencia de las impresiones luminosas en la retina, vemos un huso que es casi transparente en su parte media.

Compruébase también el movimiento vibratorio poniendo unos granos de arena en una campana de cristal que se mantiene horizontalmente con la mano.

Si se frota el borde de la campana con un arco se verifica *siempre* el mismo número de oscilaciones en un segundo. Se ve que los granitos de arena tan, comprobándose así la vibración del cristal.



Fig. 138. Movimiento vibratorio de una cuerda.

El experimento sale más claro cuando se hace sonar un diapason y acercando una de sus ramas á la esfera del péndulo: la esfera es rechazada con fuerza como resultado del movimiento de la rama del diapason.

Para darnos cuenta de este movimiento podemos tomar un diapason, hacerlo vibrar y examinar una de sus ramas: vemos que se ensancha en forma de abanico y verifica á derecha e izquierda de su posición de reposo un número de oscilaciones de la misma duración. Una *oscilación* es el desalojamiento de la rama N' á N'' ó de N'' á N'. Una *vibración* está formada de *dos oscilaciones*: la amplitud de las oscilaciones disminuye poco á poco sin que la duración de las oscilaciones varíe. El dia



Fig. 139. Movimiento vibratorio del cristal.

La necesidad del trabajo y de la industria humana, han obligado al hombre á producir ruidos que no se recomiendan ni por la melodía, ni por la armonía, pero que son inseparables de los trabajos que los producen y que participan, por decirlo así, de su carácter de utilidad. El ruido que produce el vapor, de los martillos y de las sierras, de los molinos y los talleres, no tienen nada de agradable, pero son los alegres síntomas de la paz, de la tranquilidad y del trabajo, y es claro que preferimos estos ruidos al estampido de los cañones, al tronar de los fusiles y al reventar de las bombas que producen la muerte y la desolación entre los pueblos.

90. El sonido es el resultado de las vibraciones de las moléculas de los cuerpos elásticos, vibraciones que van á excitar el órgano del oído.

No debe confundirse el *sonido* con el *ruido*. El sonido da origen á una sensación continua, cuyo valor armónico puede apreciarse, mientras que el ruido es ó un sonido demasiado corto para que pueda ser clasificado en la escala musical, como por ejemplo el disparo de una pistola, ó una mezcla confusa de varios sonidos discordantes, como el retumbar del trueno ó el rumor de las olas. Sin embargo, hay oídos tan bien organizados que pueden apreciar el valor musical del ruido que produce un carro al rodar sobre un empedrado.



Fig. 140. Las vibraciones del diapason.

91. Tenemos un órgano especial para poder oír los sonidos, y ese órgano es el del oído.

El oído se compone de tres partes: *oído externo*, *oído medio* y *oído interno*. El oído externo se compone del pabellón (*oreja*), que es una membrana



Fig. 141. El oído humano.

El oído medio está formado por la caja del tímpano y los huesecitos del oído. Estos huesecitos son cuatro: el *martillo*, el *yunque*, el *lenticular* y el *estribo*.

El oído medio comunica con las fosas nasales por medio de un conducto llamado *trompa de Eustaquio*. En el fondo de la cavidad del oído medio hay una membrana elástica que tiene dos aberturas: la ventana oval y la ventana redonda. El huesecito *estribo* se apoya sobre la ventana oval.



Fig. 142. Los huesecitos del oído.

La parte más esencial del órgano del oído es el oído interno, que se encuentra alojado en una parte muy pura del hueso temporal. Se compone de tres cavidades: el *caracol*, el *vestibulo* y los *canales semicirculares*.

Su conjunto constituye el *laberinto* que está tapado

interiormente por una membrana que baña un líquido gelatinoso. En este líquido se sumergen las innumerables ramificaciones del nervio acústico, ramificaciones que el anatómico Corti ha calculado en tres mil.

El mecanismo de la audición es muy curioso. Al vibrar un cuerpo, las vibraciones se comunican al aire y se producen las ondas sonoras que son recogidas por el pabellón de la oreja que las reúne, las refleja y las conduce por el conducto auditivo hasta la membrana del tímpano que entra también en vibración. Las vibraciones se transmiten por los huesecitos del oído hasta el líquido ó linfa de Cotuni, y de aquí, pasando por las fibras ó ramificaciones del nervio acústico, llegan al cerebro que hace efectiva la sensación.

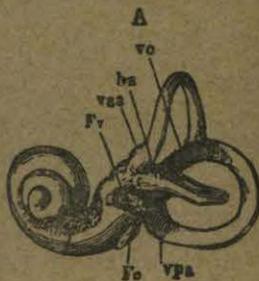


Fig. 143. El laberinto y los canales semicirculares.

92. *Diversas maneras de producción del sonido.* — El sonido puede ser producido de muy distintas maneras. Por *percusión* ó sea choque de dos cuerpos uno contra otro, por ejemplo: el caso del martillo que hiere al yunque, el badajo que pega contra la campana, los bolillos contra el parche del tambor. También puede producirse por choque de líquido contra sólido, como en el caso del *martillo de agua*. Se recordará que éste es un aparato de Física, que consiste en un tubo de cristal, terminado por una esfera donde hay una poca de agua. Se hace hervir el agua para expulsar el aire, se cierra el tubo, y si después se invierte, se oye un golpe seco producido por el agua que — no teniendo ya quien le

presente resistencia — cae de golpe sobre el vidrio.  
Otro modo de producción del sonido, es por *frotamiento*, como se observa en las cuerdas del violín de la viola y del violoncello, que se frotan con un arco de crines untadas con resina.

Cuando se pulsa una cuerda de guitarra, de arpa ó de mandolina, se produce un sonido cuyo origen participa á la vez de la percusión y del frotamiento.

En los gases, el ruido se debe á una serie de condensaciones y de dilataciones alternativas, y estos movimientos pueden producirse por percusión y por frotamiento.

Las detonaciones de los gases, el ruido que acompaña á la chispa eléctrica, las explosiones del rayo son sonidos que tienen por causa dilataciones y contracciones sucesivas de masas gaseosas.

Entre los modos más curiosos de producir sonidos recordaremos el que resulta del contacto de dos cuerpos sólidos á temperaturas diferentes. El singular fenómeno fué observado por primera vez en 1806 por el Sr. Schwartz, inspector de una fundición sajona. Habiendo puesto sobre un yunque frío un lingote de plata muy caliente, se sorprendió al oír sonidos musicales que se prolongaron hasta que se enfrió la masa.

En el año de 1829 el Sr. Arturo Trevelyan colocó accidentalmente un soldador muy caliente sobre un blok de plomo, é inmediatamente se escuchó un sonido muy agudo.

El paso de una corriente eléctrica por una barra de fierro suspendida por su parte media, é introducida en un carrete de inducción, produce también sonidos.

Es conocido el experimento de la *harmónica química* (\*), en el cual la combustión de gases en los tubos produce sonidos musicales.

En suma, para que un ruido se produzca, se requiere que entren en vibración las moléculas de los cuerpos elásticos; algunas veces estas vibraciones no las puede percibir el ojo, pero sí son sensibles al tacto.

Sólo deberemos advertir que, según Despretz, el límite de los sonidos perceptibles para el oído hu-

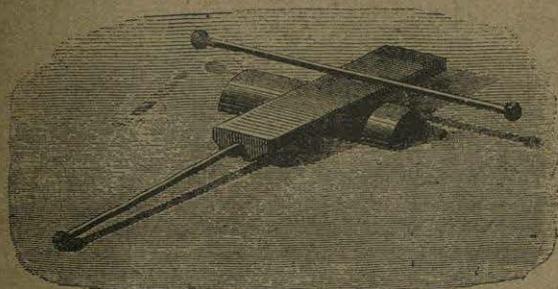


Fig. 144. El experimento de Trevelyan.

mano es de 16 vibraciones dobles para los sonidos graves y de 36.850 para los agudos.

93. *Conductibilidad de los cuerpos para el sonido.*  
—La propagación del sonido en los distintos cuerpos no es instantánea; para que el sonido se transmita de un punto á otro se requiere que pase un intervalo más ó menos largo. Prueba de ello tenemos durante las tempestades: vemos el relámpago y después de cierto tiempo percibimos el ruido del trueno, no obstante que ambos fenómenos se verificaron simultáneamente en la nube.

Para determinar la velocidad del sonido en el aire

(\*) Véase «Química Popular» por Luis G. León.

los miembros de la Oficina de Longitudes, en París hicieron unos experimentos en la noche del 21 de Junio de 1822, escogiendo para ello dos alturas, una situada en Villejuif y otra en Montlhéry. En la primera estación se encontraban Arago, de Prony, y Mathieu y en la otra Gay-Lussac, Humboldt y Bouvard.

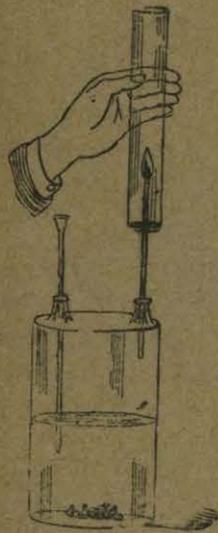


Fig. 145. La harmónica química.

En cada estación se disparaba un cañonazo cada 10 minutos, y empleando cronómetros de detención se determinó el espacio transcurrido entre la aparición del fogonazo y el ruido del cañón. Los observadores que estaban en Villejuif oyeron perfectamente los 12 cañonazos disparados en Montlhéry; pero los que aquí se encontraban distinguieron 7 cañonazos de los 12 disparados, por haberse contrariado la dirección del viento. La distancia entre las dos estaciones era de 18.612 metros, 82 centímetros, y como el tiempo transcurrido por término medio fué de 54<sup>s</sup>6, resultó para velocidad del sonido en el aire 340<sup>m</sup>9 por segundo á la temperatura media de 15°9.

La temperatura del aire influye en la velocidad del sonido; á 10° sólo es de 337 metros por segundo, á 0° es de 333 metros. Pero considerando la misma temperatura, la velocidad del sonido es independiente de la densidad del aire y por lo tanto de la presión atmosférica. A igualdad de temperatura la velocidad es idéntica para todos los sonidos fuertes ó débiles

graves ó agudos. El físico Biot, al estudiar la conductibilidad del sonido en los tubos, demostró que cuando se tocaba la flauta en el extremo de un tubo de 950 metros de largo, los diferentes sonidos conservaban su armonía en el extremo opuesto, lo cual indica que se propagan con velocidades iguales. Sin embargo, no debe admitirse esto de un modo general para los que tienen un origen discordante, como, por ejemplo, si se compara el estampido de un cañón con el sonido de la voz humana. Así al menos lo prueba la siguiente observación que hizo en los mares del Norte el capitán inglés Parry: un día mandó hacer el ejercicio de cañón y los artilleros sólo disparaban al mando del oficial. Entonces sucedió que muchas personas situadas á bastante distancia de los cañones, oyeron el estampido antes que la voz de fuego, lo cual indicaba que se propagan más pronto los sonidos producidos con violencia.

También varía la velocidad del sonido con la naturaleza de los gases, aunque sea igual la temperatura. Dulong calculó que á la temperatura de 0° la velocidad del sonido varía de este modo en los gases que siguen:

Acido carbónico .....	261 <sup>m</sup>
Oxígeno.....	317
Aire .....	333
Oxido de carbono .....	337
Hidrógeno.....	1269

Newton fué el primero que ideó una fórmula para calcular la velocidad del sonido á 0°

$$v = \sqrt{\frac{e}{d}}$$

en la cual  $v$  representa la velocidad del sonido,  $e$  la elasticidad del gas á 0° y  $d$  la densidad del mismo gas también á 0°.

Se deduce de aquí que la velocidad de propagación del sonido en los gases es directamente proporcional á la raíz cuadrada de la elasticidad del gas, y que se considera é inversamente proporcional á la raíz cuadrada de la densidad del mismo gas.

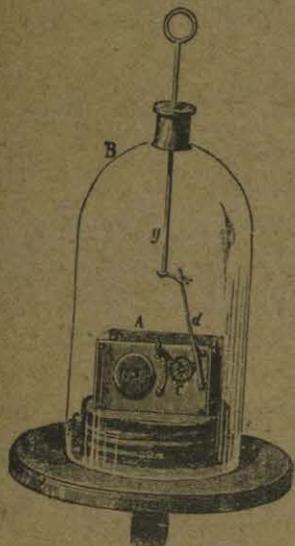


Fig. 146. El sonido no se propaga en el vacío.

En 1827 los Sres. Collado y Sturm hicieron unos experimentos en el lago de Neuchaumont para determinar la velocidad del sonido en el agua. Se colocaron en el lago dos barcas situadas á una distancia conocida de una de la otra; de una de las barcas se hacía salir una campana sobre la cual había suspendido un martillo puesto en comunicación con un cohete, tal manera que en el momento de arder éste, el martillo caía sobre la campana haciéndola vibrar. En la otra barca había una trompeta acústica que se sumergía en el agua. Anotando el tiempo transcurrido entre la aparición de la luz del cohete y el ruido de la campana se encontró para la velocidad del sonido en el agua á 8° centígrados, 1.425 metros por segundo.

En los sólidos es aún mayor la velocidad del sonido. Biot encontró experimentalmente que el hierro colado propaga el sonido con una velocidad de 3.570 metros por segundo. Savart descubrió que en las diferentes especies de maderas, la velocidad es de 10 á 16 veces mayor que en el aire.

95. *El sonido no se propaga en el vacío.*— Esto se demuestra poniendo un timbre, movido por un mecanismo de relojería, debajo de la campana de la máquina neumática.

Cuando la campana está llena de aire se oye muy bien el sonar del timbre, pero á medida que se va enrareciendo el aire, el sonido se debilita, hasta llegar á ser imperceptible.

También se puede demostrar haciendo el vacío dentro de un globo en el que está colgada una campanita.



Fig. 147. El sonido no se propaga en el vacío.

Agitando después el globo no se escucha ningún sonido, pero si se hace entrar algo de aire el sonido comienza á hacerse perceptible, y será tanto más intenso cuanto mayor sea la elasticidad del gas introducido. En las ascensiones en globo y en las verificadas á picos elevados, se ha observado que un tiro de pistola produce un ruido muy poco intenso, y hay que hablar en voz muy alta para hacerse oír.

96. *Reflexión del sonido.*— El sonido se refleja lo mismo que la luz y el calor; los ecos y las resonancias son fenómenos producidos sencillamente por la reflexión del sonido. Cuando nos encontramos en un salón de paredes desnudas, la voz resulta

reforzada y el ruido de los pasos ó el choque de cuerpos sonoros resuena con mayor intensidad.

Cuando las ondas sonoras encuentran un obstáculo se reflejan según la ley que enunciamos para la (pág. 14) y que se aplica también al calor.

97. *El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.*— Consideremos un rayo sonoro AC, cae sobre el muro PQ; este rayo se llama *rayo*

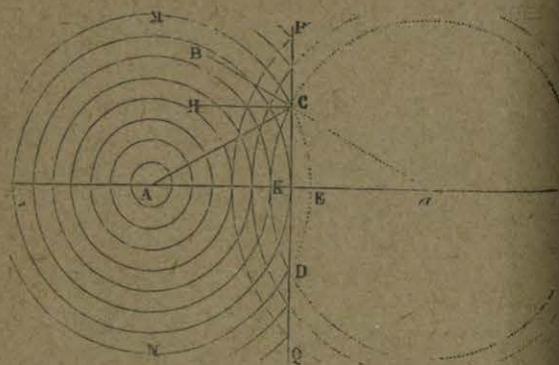


Fig. 148. Las ondas sonoras al encontrar un obstáculo producen

*incidente*, y forma con la normal HC un ángulo ACH, llamado *ángulo de incidencia*. El rayo refleja en la dirección CB, que forma con la misma normal CH un *ángulo de reflexión* enteramente igual al *ángulo de incidencia*. Si suponemos que el vibratorio está en A, este punto será el centro común de las ondas sonoras que se van propagando en el aire hasta encontrar el obstáculo PQ, y prolongamos el rayo reflejado BC al punto *a*, donde encuentra á la perpendicular bajada del punto A, llama *centro virtual*.

La otra ley relativa á la reflexión del sonido dice: *El rayo incidente y el rayo reflejado están en un mismo plano perpendicular á la superficie reflectora.*

En virtud de estas leyes la onda propagada en el sentido AC toma, después de la reflexión, la dirección CB; de modo que un observador situado en B oye, además del sonido producido en el punto A, otro que le parece emitido en la dirección CB.

98. *Eco.*— A la repetición de un sonido en el aire por efecto de su reflexión sobre algún obstáculo es á lo que se da el nombre de *eco*. Pero para que pueda haber eco se necesita que la superficie reflectora esté colocada cuando menos á una distancia de 17 metros, pues la experiencia prueba que para que exista un eco verdadero, es preciso que el sonido directo y el reflejado estén separados por un intervalo de tiempo de  $\frac{1}{10}$  de segundo, y como la velocidad del sonido en el aire es de 340 metros por segundo, en  $\frac{1}{10}$  de segundo será de 34 metros, y teniendo en cuenta el tiempo que tarda en ir y venir, el obstáculo tendrá que estar colocado á una distancia de 17 metros, que es la mitad de 34.

Cuando un observador está colocado á 17 metros de un muro reflector, percibe la repetición de una sílaba que pronuncie; este fenómeno se llama *eco sencillo* ó *monosilábico*. Si la distancia á que se encuentra el observador de la pared reflectora es muy grande, podrá oirse la repetición de dos, tres ó más sílabas, y entonces el eco se llama *múltiple* ó *polisilábico*. Uno de los ecos múltiples más notables es el de la Quinta de Simonetta, en Italia, que repite hasta *cuarenta veces* las palabras pronunciadas en-

tre las dos alas paralelas del edificio. El Dr. como veremos en el calor y en la luz) focos donde cuenta que en el parque Woodstock, en Inglaterra á concentrarse los rayos reflejados; por esta había un eco que repetía diez y siete sílabas de razón en ciertas salas abovedadas, principalmente y veinte de noche. Tal vez la degeneración del en las elípticas, dos personas que estén distan- durante el día, se deba á la falta de homogeneidad, pero colocadas en los focos, pueden sostener de las capas de aire mientras se hallan bajo una conversación en voz baja, sin que puedan en- ción de los rayos solares. A esta causa atribuye terarse las personas colocadas en otros puntos del Barón de Humboldt la diferencia de intensidad del salón.

había notado en el ruido producido por la herida En el antiguo convento del Desierto, en Cuaji- catarata del Orinoco, según que se oía de día y malpa, existe una bóveda que llaman «del secreto». noche.

Otro tanto podría yo decir del ruido de la catarata del Niágara.

Cuando la distancia que separa á un cuerpo del noro del cuerpo reflector es menor de 17 metros el sonido directo y el reflejado se sobreponen en parte y se nota que los sonidos directos son á la vez forzados y prolongados. Es cierto que de este modo el sonido adquiere mayor intensidad; pero se vuelve confuso y si su prolongación es considerable, este fenómeno toma el nombre de *resonancia*. Este fenómeno se observa principalmente en las grandes salas cuyas paredes están desnudas, mientras que deja observarse en aquellas en que hay tapices y colgaduras.

Un fenómeno curioso de resonancia y de concentración del sonido es el que observó Wheatstone en lo alto del muro superior del *Coloseum*, de Londres, edificio circular de 43 metros de diámetro. Cada palabra pronunciada era repetida gran número de veces. La más sencilla exclamación producía como una carcajada, y al rasgar un pedazo de papel parecía oírse una granizada.

El sonido al reflejarse en superficies curvas forma

(como veremos en el calor y en la luz) focos donde se concentran los rayos reflejados; por esta razón en ciertas salas abovedadas, principalmente en las elípticas, dos personas que estén distantes, pero colocadas en los focos, pueden sostener una conversación en voz baja, sin que puedan enterarse las personas colocadas en otros puntos del salón.

En el antiguo convento del Desierto, en Cuajimalpa, existe una bóveda que llaman «del secreto». Basta colocarse en un rincón y hablar en voz muy baja para que otra persona situada en el rincón opuesto perciba claramente todo lo que se le dice.

99. *Refracción del sonido*.—El sonido también es susceptible de refractarse, lo mismo que el calor y la luz. Si en el foco principal de una lente biconvexa de colodión, llena de anhídrido carbónico, se pone un reloj de bolsillo, se oirá el sonido del otro lado, con su máximo de intensidad en el otro foco de la lente, lo que prueba la refracción ó cambio de dirección de los rayos sonoros.

100. *Interferencia de los sonidos*.—Cuando dos semi-ondas sonoras, una condensada y otra dilatada, se encuentran, se neutralizan recíprocamente y el resultado es la ausencia de sonido, de donde resulta el siguiente principio que pudiera parecer paradójico: *El sonido unido al sonido puede en ciertas circunstancias producir el silencio*.

101. *Cualidades del sonido*.—Las principales cualidades del sonido son tres:

- 1.<sup>a</sup> *La altura*, que depende del número de vibraciones producidas en un segundo.
- 2.<sup>a</sup> *La intensidad*, que depende de la amplitud de las oscilaciones.

3.ª *El timbre*, cualidad que sirve para distinguir á dos sonidos de la misma altura y de la misma intensidad, y que depende del número de harmónicos que acompañan al sonido fundamental.

El timbre será agradable si los harmónicos producidos están en consonancia con el sonido fundamental; será desagradable en el caso contrario, eso, para evitar un timbre desagradable en los nos se hiere á las cuerdas en la séptima ó novena parte de su longitud, á fin de destruir el séptimo y el noveno harmónico que producen disonancias.

ALTURA DEL SONIDO

102. Para determinar la altura de un sonido emplean dos métodos principales: el de la sirena de Cagniard de Latour y el método gráfico de Duhamel.

La sirena se compone de una caja cilíndrica de cobre cubierta en la parte superior por un platillo fijo que lleva 20 agujeros colocados todos sobre la misma circunferencia y á intervalos iguales. Encima de este platillo hay un disco que puede girar alrededor de un eje vertical y lleva también 20 agujeros situados á la misma distancia del centro del platillo. Ni los agujeros del disco ni los del platillo son perpendiculares á las superficies de ambos, sino que algunos están inclinados, pero en sentido contrario tal como se observa en la figura.

El objeto de esta disposición es conseguir que al llegar á la caja una corriente de aire, este flúido encuentre cierta resistencia para su salida y se produce en el disco un movimiento de rotación.

El eje lleva en su parte superior un tornillo sin fin que engrana con una rueda de 100 dientes, estando arreglado el mecanismo de tal manera que por cada vuelta que dé el disco la rueda avanza un diente. Esta rueda lleva lateralmente un vástago ó lope que puede en cada vuelta engranar con otra rueda

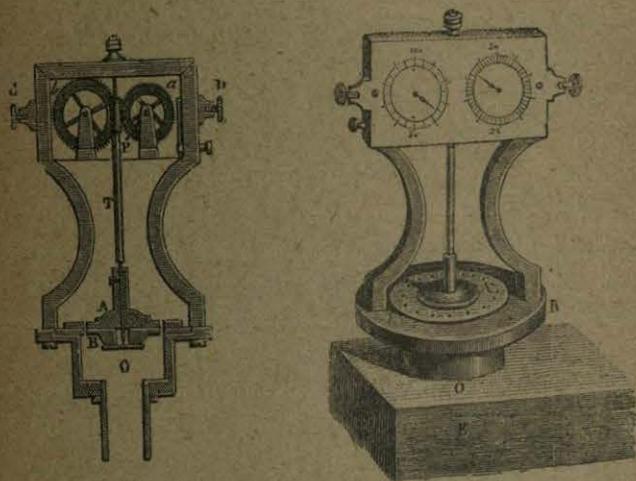


Fig. 149. La sirena.

dentada colocada á un lado. Así es que cada diente que avance esta rueda corresponderá á los 100 dientes de la otra, ó lo que es lo mismo, á 100 vueltas dadas por el disco. Cada una de las ruedas lleva una carátula y una aguja que marca las vueltas dadas por el disco. Del arreglo del mecanismo se deduce que una aguja marcará centenares de vueltas y la

otra marcará vueltas simples. Por último, á derecha é izquierda de la caja donde están las ruedas hay dos tornillos C D que sirven para poner en movimiento á las agujas en el momento en que se juzgue necesario.

Para hacer funcionar á la sirena se pone en comunicación con el fuelle acústico de que en breve hablaremos y dejará de forzarse la llegada del aire en el momento en que el sonido de la sirena esté al unísono con el sonido cuya altura se trata de determinar.

Supongamos que después de dos minutos de haber funcionado al aparato la aguja de la rueda *b* marca el número 11 y la aguja de la rueda *a* marca el número 80. Como la rueda *b* corresponde á centenas de vueltas, el disco habrá dado 1.100 vueltas que unidas á las 80 que marca la aguja de la rueda *a* da un total de 1.180. Esta cantidad hay que multiplicarla por el número de agujeros que tiene el disco. Siendo 20 los agujeros obtendremos para el producto 23.600 vibraciones en 2 minutos, y como la altura corresponde al número de vibraciones en 1 segundo habrá que dividir entre 120 y obtenemos como resultado final 196 vibraciones por segundo que correspondrá á la altura del sonido. Para el caso general podremos usar la siguiente fórmula:

$$N = \frac{20(n + 100c)}{s}$$

en la que *N* representa la altura del sonido, *n* el número de vueltas simples, *c* el número indicado por la rueda de las centenas y *s* el número de segundos que duró el experimento.

Se ha observado que la sirena produce el mismo sonido en el agua que en el aire y que en cualquier otro gas, dada por supuesto la misma velocidad, lo

que prueba que la altura de un sonido sólo depende del número de vibraciones y no de la naturaleza del cuerpo sonoro.

103. *Rueda dentada de Savart.*—La rueda de Savart sirve también para determinar el número de vibraciones que corresponden á un sonido determinado. Se compone de una rueda cuyo número de dientes es conocido, y lleva un contador que marca el número de vueltas dadas en un tiempo dado. Los

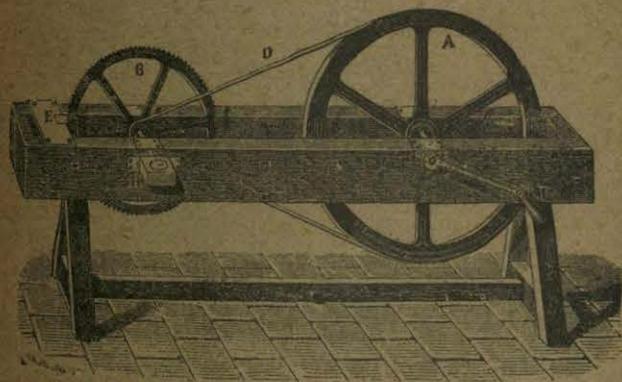


Fig. 150. Rueda de Savart.

dientes tropiezan con una lámina vibrante y se produce un sonido musical, que se puede poner al unísono con el sonido que se quiere estudiar regularizando la velocidad del aparato. Bastará después leer en el contador el número de vueltas y fracciones de vuelta que ha dado la rueda dentada, que multiplicadas por el número de dientes y divididas por el tiempo, dará el número de vibraciones por segundo ó sea la altura del sonido.

104. *Método gráfico ó de Duhamel.*—El método de la sirena exige necesariamente que este aparato

dé el mismo sonido que aquel cuya altura se  
de determinar. El método gráfico no presenta  
inconveniente, pues después de que se han registra  
las vibraciones en un papel ahumado, basta co  
las sinuosidades que son perfectamente percepti  
á la simple vista.

El vibroscopio de Duhamel se compone de

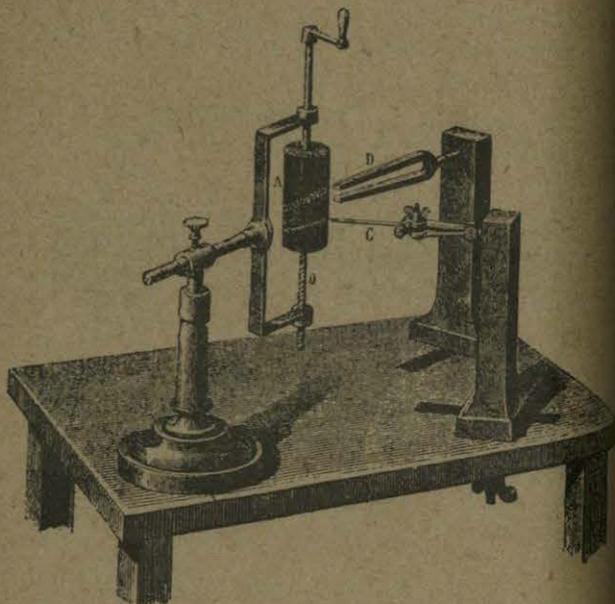


Fig. 151. El vibroscopio de Duhamel.

cilindro de madera A, cuyo eje vertical tiene for  
de tornillo y penetra en unas tuercas, de manera q  
con ayuda de un manubrio se le puede imprimir  
doble movimiento de rotación y de traslación. En  
cilindro se enrolla una hoja de papel que lleva un  
ligera capa de negro de humo para que aquí se  
donde se graben las vibraciones.

Si, por ejemplo, se trata de determinar el número

de vibraciones de una lámina elástica C, se le fija  
por un extremo á un sólido soporte de madera ó de  
metal y en la otra extremidad se le pone un pe  
queño punzón que roce contra la superficie untada de  
negro de humo. Se hace vibrar la lámina y en se  
guida se hace girar el cilindro valiéndose del manu  
brio, cuidando de que el movimiento sea regular y  
uniforme. Entonces el punzón marca un trazo heli  
coidal ondulado y cada vibración de la lámina co  
rresponde á una ondulación. El procedimiento más  
cómodo para averiguar lo que duró el sonido regis  
trado consiste en hacer vibrar en otro soporte un  
diapasón que produce en un segundo  
un número conocido de vibraciones. En una de las ramas del diapasón  
hay una laminita elástica que también  
deja una huella en el negro de humo. Terminado el experimento se desen  
rolla la hoja de papel, se comparan  
los números de sinuosidades que corresponden á las  
dos curvas y se deduce de esta comparación el nú  
mero de vibraciones por segundo ó sea la *altura* del  
sonido que se estudiaba.



Fig. 152. El trazo de los punzones.

105. *El Fonotógrafo de Scott.*—En el año de 1856  
León Scott ideó un aparato al que dió el nombre  
de *fonotógrafo* y que inscribía las vibraciones de la  
voz humana por medio de un estilete metálico que  
se movía sobre una hoja de papel cubierta de negro  
de humo.

El fonotógrafo de León Scott se componía de una  
caja de madera de forma piramidal, que llevaba en  
su base menor una membrana provista de un estilete,  
el cual al vibrar con la membrana, marcaba una hue  
lla en la hoja de papel cubierta con negro de humo.