

(Continuación).

SECCION II.

ACÚSTICA. (*)

204. "Definición.—*Acústica es la ciencia que tiene por objeto estudiar el sonido considerado en sus propiedades, y no en las sensaciones que en nosotros produce.* La manera de producirse y propagarse el sonido pertenece á la física; pero el modo de obrar sobre el órgano del oído, es más bien de la fisiología, así como el sonido, considerado bajo el punto de vista de la sensación moral que en nosotros produce, es del dominio de la música.

205. Sonido: ruido.—*El sonido es la sensación que en el órgano del oído produce una causa exterior, y se distingue del ruido en la especie de sensación más ó menos agradable que produce; distinción que está fundada más bien en un convenio tácito que en diferencias que puedan marcarse con exactitud.*

206. Producción y propagación del sonido.—El sonido se produce por el movimiento de las moléculas de un cuerpo elástico que, separadas de su posición natural por una causa cualquiera, vuelven á ella y cuando han vuelto pasan adelante por la velocidad que tienen adquirida en su movimiento, hasta que esta velocidad se destruye; pero entonces las moléculas se encuentran de nuevo en una posición que no es natural, y tienden por tanto á volver á ella pasándola como antes hemos dicho, y produciendo oscilaciones lo mismo que un péndulo, las cuales en este caso toman el nombre de *vibraciones*, que son *simples* cuando sólo se considera la marcha del cuerpo desde la

(*) Tomo del Tratado de Física general del Sr. Rodríguez la parte de Acústica pura, por parecerme, entre la que he consultado, la que mejor compendia el asunto.

se compone de un timbre ó campana, sobre la que pega un mazo movido por una sencilla máquina de reloj; este aparato se coloca debajo de una campana en la máquina neumática, poniéndole sobre cuerpos poco elásticos, como una almohadilla de pluma ó cosa semejante, para que no comunique sus vibraciones á la platina; haciendo sonar el aparato se percibe más débil el sonido á medida que se saca el aire, dejando de percibirse cuando se ha hecho el vacío. Si el experimento se hace con un recipiente que contiene dentro una campanilla, y hecho el vacío se llena de diferentes gases, se percibe el sonido al través de todos ellos, y con tanta mayor intensidad cuanto más denso es el gas: de aquí resulta la ley del sonido, que se *propaga con tanta mayor intensidad cuanto más denso es el medio que le propaga*. Pero no son los gases solamente los cuerpos á propósito para transmitirle, sino también los líquidos y los sólidos: si se produce un sonido dentro del agua, el choque de dos cuerpos, por ejemplo, es perceptible fuera, y si se produce fuera del líquido, también le percibe una persona que se encuentra sumergida dentro de él. En cuanto á los sólidos, es fácil convencerse de que *propagan el sonido*: hagamos, por ejemplo, sobre una mesa un pequeño sonido que no sea perceptible transmitido por el aire, pero apliquemos el oído á la mesa y le percibiremos distintamente. Los *escuchas* ó centinelas vigilantes aplican el oído á la tierra para percibir el sonido producido por una persona que se acerque.

207. Modo de propagarse el sonido en los gases.—Supongamos un elemento ó porción del cuerpo que vibra; este elemento al marchar en una dirección, choca con el aire inmediato y lo comprime, pero este aire se dilata en seguida por su elasticidad, transmitiendo su movimiento á una porción del aire siguiente igual á él, quedando en reposo: esta nueva capa de aire se comprime, y después se dilata, transmitiendo su movimiento á la siguiente, quedando en reposo, y así sucesivamente; de modo que se produce una serie de *ondas condensadas* á continuación unas de otras. Si suponemos dividido el espacio que recorre el cuerpo en una porción de pequeños espacios, al recorrer el primero, produce una onda condensada, al segundo otra más condensada, que seguirá á la primera, y sucesivamente otras, hasta que el cuerpo vibrante

llega al medio del espacio que recorre; desde este punto empieza á disminuir su velocidad y va produciendo ondas condensadas de una densidad decreciente, hasta que se para: pero el cuerpo cuando llega al fin del espacio que recorre, vuelve en sentido contrario, y produce un vacío que le ha de llenar el aire inmediato, produciendo una onda *dilatada* que atraerá una capa igual del aire siguiente, quedando el de la primera en reposo y formando otra onda dilatada, que á su vez atraerá otra capa de aire igual, y producirá otra tercera onda dilatada y sucesivamente una serie de ellas en sentido contrario de las condensadas, y suponiendo el espacio andado por el cuerpo dividido en partes, se producirá una serie de ondas que irán aumentando de dilatación á medida que el cuerpo aumenta de velocidad hasta la mitad de su carrera, y que disminuirán después cuando el cuerpo vaya perdiendo su velocidad; llegado el cuerpo al fin del espacio que recorre, vuelve á producir otra vibración, y á repetirse la formación de ondas más y menos dilatadas y condensadas como hemos dicho. Si consideramos ahora que vibra todo el cuerpo, en lugar de un elemento sólo, se producirán estas ondas al rededor del cuerpo en una serie de esferas cuyo centro será el mismo cuerpo; la primera onda condensada, habrá llegado á formar otras sucesivas, de las cuales la última estará á una cierta distancia del cuerpo cuando éste en una vibración llegue al fin de su carrera, y en el espacio que media entre esta última onda y el cuerpo se encontrarán todas las ondas condensadas siguientes, lo mismo que las dilatadas, siendo este espacio que se llama una *ondulación* el que recorre el sonido durante una vibración del cuerpo, y estas ondulaciones repetidas una á continuación de otra las que hacen llegar el sonido hasta nosotros. Se concibe según lo dicho, que si el cuerpo hace pocas vibraciones en un tiempo dado, las ondulaciones formadas serán también pocas, y el sonido podrá llegar á ser imperceptible; si son muchas las vibraciones serán de poca extensión ó *amplitud*, y las ondulaciones también serán pequeñas; pudiendo llegar á ser el sonido imperceptible también por esta causa; de aquí se deducirá que la intensidad del sonido aumenta con la amplitud de la ondulación.

208. *Sonido perceptible.*—Se ha tratado de determinar el número de vibraciones que debe hacer un cuerpo para

que el sonido sea perceptible. Se había creído que con menos de 32 vibraciones por segundo el sonido no podía percibirse, y en el límite superior no estaban los físicos de acuerdo, habiéndose dado números que variaban entre 8.000 y 21.000 por segundo. Savart ha visto que puede oírse claro el sonido con 7 ú 8 vibraciones dobles por segundo, y aun con menos para un oído ejercitado, y que á 24.000 vibraciones dobles por segundo el sonido es perceptible. Despertz ha dado 16 vibraciones dobles para el límite de los sonidos graves, y 36.800 para los agudos. Kœnig supone 30 y 20,000 vibraciones dobles como límites.

209. Intensidad del sonido con la distancia.—La intensidad del sonido disminuye con la distancia, pues la onda esférica primera, produce la siguiente, que siendo una esfera de mayor radio, será mayor la masa de aire en movimiento y por tanto la velocidad producida menor; de modo que á medida que la capa esférica puesta en movimiento está más lejos del cuerpo, las moléculas de ésta se moverán con menos velocidad, y el sonido perderá de su intensidad, por ser menor la amplitud de la ondulación (207); de aquí se deducirá con cortos conocimientos de geometría la ley de que *la intensidad del sonido está en razón inversa del cuadrado de la distancia*. Si el sonido se propaga dentro de un tubo, la primera ondulación no produce movimiento en una masa mayor de aire, sino igual, pues aquí le produce en la capa de aire siguiente, que tendrá la misma forma, y no será, como en el aire libre, una esfera de mayor radio: de aquí resulta que no hay pérdida de velocidad de una ondulación á otra, y por tanto el sonido llega al extremo del tubo, teóricamente con la misma intensidad que se produjo; y aunque en la práctica hay varias causas que le hacen disminuir, llega, sin embargo, á grandes distancias con muy poca pérdida de intensidad. Se han hecho experimentos en tubos de conducción de agua de más de 950 metros de longitud, y el sonido se ha propagado con tan poca pérdida que ha podido sostenerse una conversación de voz natural de un extremo al otro. De esta propiedad se hacen útiles aplicaciones; es muy común colocar tubos llamados *acústicos*, formados de cualquier cuerpo, á veces de goma elástica, entre uno y otro departamento ó piso de los edificios, con el objeto de ponerlos en

comunicación; por ejemplo, en las fondas ó almacenes se hacen los pedidos de un punto á otro por medio de tubos acústicos; aplicación muy sencilla y ventajosa en muchos casos. Los tubos rectos y de pequeño diámetro son los que propagan el sonido con menos pérdida en su intensidad, como es fácil prever.

210. *Intensidad del sonido durante la noche.*—Se ha observado que la intensidad del sonido es mayor durante la noche que en el día; este fenómeno se había explicado por el mayor silencio que naturalmente debe haber en la noche, pero se ha visto después que hay que atribuirlo á otra causa, porque en algunos desiertos en que el ruido de los insectos es mayor de noche, se ha observado el mismo fenómeno. La explicación dada ahora es que durante el día la masa de aire es menos homogénea, á causa de las corrientes producidas por las variaciones de temperatura.

211. *Velocidad del sonido en el aire.*—De lo dicho sobre la propagación del sonido (207) se deduce, que las diferentes ondulaciones deben necesitar un tiempo para formarse, y por tanto que el sonido no se propagará instantáneamente. Para medir la velocidad del sonido en el aire se ha hecho estación en dos puntos cuya distancia se conocía exactamente; tirando un cañonazo en uno de ellos, y suponiendo que la luz se percibía desde el otro al mismo tiempo de producirse el sonido, en lo que no hay error, á causa de la gran velocidad de la luz, se midió el tiempo trascurrido desde el momento en que se producía el sonido hasta el en que llegaba á percibirse en el otro punto: de estos experimentos hechos en Francia entre Montlhéry y algunos de los pequeños montecillos de las inmediaciones de París, cuya distancia es de $3\frac{1}{2}$ leguas escasas, ha resultado que la velocidad del sonido estando en el aire á la temperatura que se marca con 16 grados, es de 340^m , 89, ó sea 1223_{p.42}; que la velocidad á la temperatura de 10 grados, es de 337 metros ó 1209 $\frac{1}{2}$ piés, y á la temperatura de 0, es 333 metros ó 1195 piés. También se ha observado en estos experimentos que la velocidad del sonido es uniforme, es decir, que en tiempos iguales recorre espacios iguales; que el estado y presión de la atmósfera, siendo su calor igual, no influyen sensiblemente en la velocidad; y que el aire en movimiento, si tiene la dirección del sonido, aumenta

la velocidad, y si tiene dirección contraria, la disminuye.

212. *Velocidad del sonido en los gases.*—La velocidad del sonido varían en los diferentes gases. Según los experimentos hechos reducidos á cálculo, se ha encontrado que en el estado de calor que se llama 0, tiene el sonido en los diferentes gases las siguientes velocidades en metros por segundo; ácido carbónico, 261; oxígeno, 317; aire, 333; óxido de carbono, 337; hidrógeno, 1269.

213. *Velocidad del sonido en los líquidos.*—Al través de los líquidos, se ha encontrado una velocidad mucho mayor para el sonido que en los gases, pudiendo fijarse la velocidad en el agua, según los resultados de varios experimentos, en 1435 metros por segundo, ó sea 5150 piés.

214. *Velocidad del sonido en los sólidos.*—En los sólidos es mayor que en los líquidos la velocidad de sonido; según los experimentos hechos y los resultados del cálculo, se ha encontrado que en los metales varía la velocidad, siendo 4 á 16 veces mayor que en el aire; en el hierro fundido es $10\frac{1}{2}$ veces mayor, y en las maderas entre 10 y $16''$.

215. *Reflexión de las ondas sonoras.*—Cuando una onda sonora que se propaga en el aire encuentra la superficie de un medio sólido ó líquido, se refleja ó retracta siguiendo las leyes generales de la reflexión del movimiento vibratorio.

Si el rayo sonoro incidente es perpendicular á la superficie reflejante, regresa sobre si mismo sin cambiar de dirección; pero si toca oblicuamente, se refleja formando con la normal un ángulo de reflexión igual al de incidencia.

Todos los rayos sonoros que parten de un centro común y que encuentran una superficie plana toman después de la reflexión, tal dirección que parece emanar de un punto situado al otro lado del plano reflector y á la misma distancia que el punto primitivo.

216. *“Ecos.*—Los ecos resultan de la reflexión del sonido en una superficie cualquiera, por ejemplo, una montaña ó un edificio. La onda sonora llega á una superficie que la refleja, y esta onda reflejada podrá llegar al oído de la persona que ha producido el sonido, en cuyo caso volverá á oírle en un tiempo más ó menos largo, según la distancia del cuerpo que la refleja; será fácil calcular cuál debe ser esta distancia para que puedan per-

cibirse varias sílabas de una palabra pronunciada; en efecto, una persona puede pronunciar 7 sílabas por segundo, término medio, luego en cada sílaba emplea $\frac{1}{8}$ de segundo; en este tiempo se puede contar que el sonido anda 48 metros (211); luego el cuerpo que refleja el sonido deberá estar á $48 : 2 = 24$ metros de distancia para que, mientras se pronuncia una sílaba, vaya el sonido de la sílaba anterior y vuelva hasta el que le ha pronunciado y entonces este la percibirá á continuación de la segunda pronunciada; es decir, que mientras pronuncia la última, oirá la penúltima y en seguida esta última: y como el sonido que produce, será más fuerte que el reflejado, solo oirá con claridad la que viene después que ha callado. Si la distancia es doble oirá por la misma razón dos sílabas después de pronunciada la última, y así sucesivamente, pudiendo también oír más, si habla de prisa. Si hay varios cuerpos que reflejen el sonido, cada uno le vuelve en más ó menos tiempo según la distancia; y si están dispuestos de modo que las ondas reflejadas por todos, vayan á parar al observador, oirá este varias veces el mismo sonido: si por ejemplo hay dos cuerpos que reflejan, uno á 48 metros y otro á 96, se producirán los dos ecos de la última sílaba, uno á continuación de otro: no es fácil que se reunan estas circunstancias; sin embargo existen de estos ecos múltiples: en los Alpes á la subida del monte Wengern, hay un punto desde el que se oye 4 veces sucesivas un sonido; el de una trompa de los Alpes se percibe enteramente claro las 4 veces, bajando un tono en cada una. El eco no se produce solo en el campo, sino también en el interior de algunos edificios; la iglesia de Santa Genoveva de París tiene en sus subterráneos un eco muy notable. Cuando en el interior de un edificio existen bóvedas elípticas que forman los techos de algunos departamentos, y las paredes ó ángulos pasan por los focos, el sonido producido en uno de estos focos viene á reunirse en el otro; según lo que antes hemos dicho (215), y se oye en este un sonido producido en el primero aunque sea pequeño, de modo que dos personas pueden conversar en voz baja y sin ser oídas de otras, colocándose una en cada foco. Muchos ejemplos pudiéramos citar de puntos donde este fenómeno se produce; es notable en París, por esta causa, el vestíbulo del Conservatorio de Artes;

en Londres el arranque de la cúpula de S. Pablo, en la parte que llaman galería del eco; en Madrid, una sala del ministerio de la Guerra tiene también esta propiedad; en la Alambra de Granada la sala del secreto, y en las iglesias de S. Pedro y de S. Juan de Letrán en Roma, las divisiones de las naves laterales producen el mismo efecto.

217. *Resonancias.*—Cuando la distancia del cuerpo que refleja es menor que la marcada para producir el eco (325), no deja por esto de producirse, pero los sonidos reflejados se confunden con los directos y no se perciben separados, oyéndose sin embargo un segundo sonido, que en este caso se llama *resonancia*. Para evitar este fenómeno, que es de muy mal efecto en los salones, se cubren sus paredes con cuerpos no elásticos, como colgaduras y tapices que disminuyen la resonancia. Es muy importante tener presente al construir teatros ó salas donde ha de hablarse en voz alta, la circunstancia de la reflexión del sonido, para evitar los ecos y en lo posible las resonancias. Las bocinas y otros aparatos acústicos están formados de manera que reflejan los sonidos al principio de los tubos, y después los conducen á larga distancia.

218. *Sonido musical.*—Un sonido musical es una continuación de sonidos percibidos por el oído, produciendo en él una sensación larga y más ó menos agradable. Se distinguen en un sonido tres distintas cualidades: la *intensidad*, el *tono* y el *timbre*.

219. *Intensidad del sonido.*—La *intensidad* es la mayor ó menor fuerza de este sonido, producida por la extensión de las vibraciones del cuerpo que le forma; de modo que podrá un sonido conservarse igual en todas sus propiedades y variar sin embargo de intensidad. Si en el piano se pisa una de las teclas suavemente, se produce un sonido de poca intensidad; y si se pisa fuerte, será el mismo sonido pero de mayor fuerza ó intensidad. También puede ésta hacerse mayor aproximando el cuerpo que vibra á otro sonoro ó que pueda vibrar; pues bajo la influencia del primero, vibra este, y del conjunto resulta naturalmente un sonido más intenso; por eso en los instrumentos de cuerdas, están estas sujetas en cajas sonoras.

220. *Tono.*—El *tono* resulta del mayor ó menor nú-

mero de vibraciones que produce un cuerpo en un tiempo dado, siendo el sonido más *agudo* ó más *alto* cuando es formado por un cuerpo que vibra con mucha rapidez, y más *grave* ó *bajo* cuando el cuerpo que le produce hace solo un pequeño número de vibraciones en la unidad de tiempo. Un sonido será por lo tanto grave, comparado con otro producido por mayor número de vibraciones, y agudo si se compara con el que se forme de un menor número de vibraciones en tiempo igual.

221. *Timbre*.—El *timbre* es una circunstancia particular de los sonidos, que á pesar de ser de igual intensidad y del mismo tono, se diferencian de manera que el oído menos ejercitado puede distinguirlos; no se confunde el sonido de un violín con el de un piano ó una flauta, á pesar de que sean completamente iguales; y aun las personas se distinguen por su voz. El timbre varía con el cuerpo que le produce, con la forma de éste, con el modo de hacerle vibrar, y aun con las circunstancias del cuerpo mismo. Helmholtz después de sus trabajos sobre el análisis y síntesis del sonido, explica el timbre suponiendo que los sonidos rara vez son simples ó producidos por una sola especie de vibración; que generalmente son compuestos; que cada uno va acompañado de otros sonidos formados por un número de vibraciones que están con el fundamental en razón de los números 1, 2, 3, . . . : á los que ha llamado *armónicos*. La voz humana, cuerdas y tubos, producen muchos sonidos armónicos que acompañan al fundamental y por eso pueden tener diferencias grandes unos de otros; según los armónicos que les acompañan. El mismo físico y Kœnig han dispuesto aparatos muy ingeniosos para hacer el análisis y la síntesis del sonido.

222. *Unison*: *Diferencia de fase*.—Dos sonidos están al *unison* cuando hacen el mismo número de vibraciones. Dos sonidos unísonos que se juntan, pueden hacer sus vibraciones de modo que siendo el mismo el momento en que pasan los dos por la posición que tienen cuando están en reposo, las hagan en la misma dirección ó en opuesta; si, por ejemplo, vibran en dirección horizontal, que pasen los dos al mismo tiempo hacia la derecha, ó pase el uno á este lado cuando el otro pasa á la izquierda: también puede suceder que no pasen los dos en el mismo instante por la posición de reposo; que el uno pa-

se cuando el otro ha andado ya la mitad, el tercio. . . . de la amplitud de la vibración. Lissajous llama *diferencia de la fase* á la relación entre el tiempo de una vibración doble y el que media entre el paso de los dos cuerpos por su posición de reposo.

223. Acorde: disonancia: intervalo.—Se dice que hay *acorde* entre dos sonidos cuando producen un conjunto agradable al oído, y cuando es desagradable se dice *disonancia*. Se llama *intervalo* entre dos sonidos la relación del número de vibraciones que hacen los dos; es evidente que este intervalo no depende del número absoluto de vibraciones de cada cuerpo, sino del relativo: si el intervalo de dos sonidos acordes es de 2 á 1, lo mismo será cuando el uno haga 800 vibraciones y el otro 400, que cuando el primero haga 640 y el otro 320. Para que resulte acorde, es necesario que la relación entre el número de vibraciones se encuentre expresada en números que se diferencien poco entre sí; los intervalos de acorde mejores son: 1, ó unison: $\frac{2}{1}$ octava: $\frac{5}{3}$, sexta: $\frac{3}{2}$, quinta: $\frac{4}{3}$, cuarta: $\frac{5}{4}$, tercia mayor: $\frac{6}{5}$ tercia menor. Se dice del más agudo, que da la octava, sexta. . . etc. del otro.

224. Diapasón.—Es una barra de acero doblada que produce sonido por la vibración de sus dos brazos; lleva en la parte curva un mango para tenerle en la mano ó para sostenerle en una caja sonora que refuerce su sonido. El diapasón da un número de vibraciones que varía con su longitud y su grueso: pero una vez construido, como sus dimensiones no son variables, se tiene siempre el mismo sonido: para que le produzca, ó se da un golpe con él sobre un cuerpo duro, ó se pasa por entre sus dos brazos un cilindro más grueso que la distancia entre ellos, ó se pasa un arco de violín por uno de sus dos bordes. Para medir el número de vibraciones que produce un cuerpo sonoro, y conocer el unison ó el efecto de los diferentes sonidos combinados, se han ideado varios medios que vamos á dar á conocer.

225. Sirena acústica.—La *sirena* es un instrumento por medio del cual se puede producir en el aire ó cualquiera otro medio elástico y fluído una serie de choques que se suceden con mayor ó menor velocidad á voluntad del experimentador.

El aparato más conocido en el día es el de M. Cag-

niard de la Tour. Consiste esencialmente en un disco que cierra una caja metálica D D (fig. 55), á la que se lleva aire por medio de un fuelle: encima de este disco hay otro del mismo tamaño V V, que puede girar fácilmente sobre un eje que está en el centro del disco primero; este eje es una varilla que en su parte superior

Fig. 57.

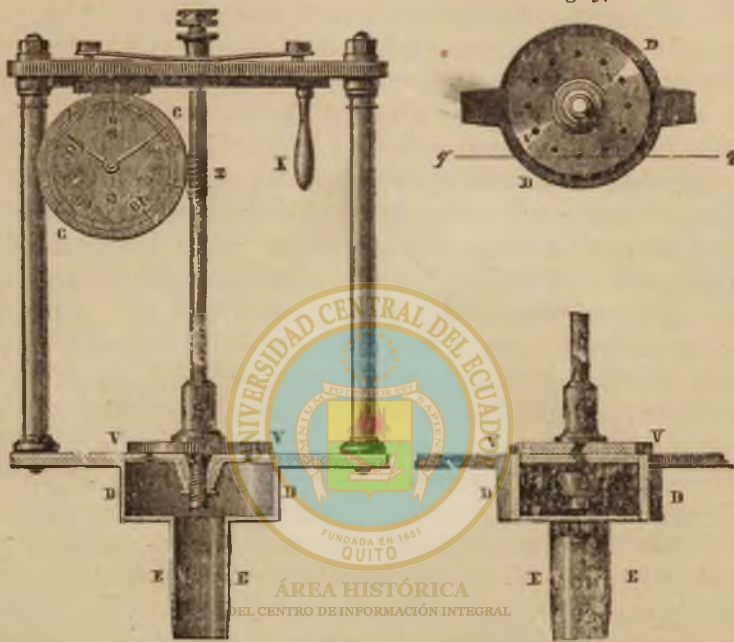


Fig. 55.

Fig. 56.

Sirena de Cagniard de la Tour.

tiene una rosca sin fin x que engrana en una rueda dentada C C, y esta mueve á otra segunda: los dos discos. V V y el que está debajo son de metal y tienen unos agujeros circulares á igual distancia del centro (fig. 57) que se corresponden exactamente pero los de un disco están inclinados á un lado, y los del otro al lado contrario. (fig. 56). Supongamos el fuelle en movimiento; el aire que llega á la caja por el tubo E E sale por los agujeros del disco que la cierra, tomando la dirección inclinada de ellos, pero cuando va á pasar por los del segundo, tienen que variar de dirección y produce una fuerza sobre la pared de los agujeros de este disco superior, que le hacen mover con más ó menos velocidad, según la del aire que entra en la caja: este aire al salir por cada agu-

jero produce un sonido que luego cesa, pues se tapan las salidas por el intervalo de los espacios llenos del disco superior al girar; pero en cuanto llegan otra vez á ponerse las salidas en comunicación, vuelve á pasar el aire, que cada vez que sale produce una vibración; y como todos los agujeros están en las mismas condiciones, hacen el efecto de un solo, reforzando con el de los demás. Dando la velocidad necesaria se nota cuando este aparato produce el mismo sonido que otro que se ensaya; entonces se lee en la rueda dentada CC, el número de vueltas del vástago, que será el mismo que las del disco; y para ello cada rueda marca con una aguja las que da, estando dispuestas de modo que mientras la varilla de 100 la primera rueda hace 1, y mientras esta da 100 la segunda hace solo 1. Supongamos que variada la velocidad del fuelle se llega al sonido que se desea: si los discos tienen 20 agujeros en su circunferencia, cada vuelta del disco abre 20 veces á cada uno, de modo que es lo mismo que 20 vibraciones por una vuelta: haciendo funcionar el aparato un número de segundos, supongamos 10, se leen las vueltas dadas. Sea el número que marca la primera rueda 36 sobre el que señalaba al empezar la observación, y la segunda 4; el número de vueltas dadas por el disco en los diez segundos serán 436; las vibraciones $436 \times 20 = 8720$, y en un segundo, $8720 : 10 = 872$. En este aparato hay que apreciar al oído la igualdad del sonido que produce con el que da el instrumento que se estudia.

226. Aparatos de Savart.—Para apreciar también el número de vibraciones de un sonido agudo, Savart se ha valido de una rueda que gira sobre su centro por medio de un manubrio, y que lleva en su circunferencia una correa para poner en movimiento el eje de otra rueda que es dentada: dando los diámetros convenientes se hace que la velocidad de esta rueda sea mucho mayor que la recibida por la primera. Fija por un extremo se coloca una lámina flexible metálica ó una cartulina, de modo que al girar la rueda dentada vaya chocando en ella con cada uno de los dientes; dando la velocidad necesaria al manubrio, este choque de los dientes en la cartulina produce un sonido más ó menos agudo que se compara al oído con el del instrumento que se observa;

cuando los dos le den igual, se cuenta el número de vibraciones de la cartulina, para lo cual hay un contador en el eje de la rueda dentada, en donde se leen las vueltas que ha dado; este número, multiplicado por el de los dientes de la rueda y dividido por el de segundos que ha girado, da las vibraciones dobles por segundo. Para los sonidos de pocas vibraciones dobles ó muy graves, ha dispuesto Savart otro aparato que se compone de una barra de hierro de 6 á 7 decímetros de longitud, la cual gira sobre su centro y pasa entre dos láminas de madera delgadas, que solo están separadas de la barra 2 milímetros, cuando pasa por entre ellas, el aire desalojado produce una vibración doble.

227. Aparatos para marcar las vibraciones.—Varios físicos han dispuesto aparatos por medio de los cuales quedan marcadas las vibraciones de los cuerpos sonoros, siendo Young el primero que empleó este método, perfeccionado después por Kœnig, Duhamel y otros. Supongamos un cuerpo que vibra, una lámina metálica, por ejemplo, fija por uno de sus extremos; lleva en el otro una punta ó estilete formado de barba de pluma ó cualquier otro cuerpo semejante; la punta de éste se apoya en un cilindro que gira sobre un eje por meüo de un manubrio, y al tiempo de girar sube ó baja guiado por el mismo eje que es un tornillo; á este cilindro se adapta una hoja de papel que tiene adherida en su superficie una capa de negro de humo; haciendo vibrar el cuerpo, marca la punta un trazo en el papel á cada vibración, pero todos estarán sobrepuestos; si gira al mismo tiempo el cilindro y está colocado con el eje en la dirección que vibra el cuerpo, los trazos de cada vibración resultarán separados y se podrán contar muy bien, pues si vibra el cuerpo rápidamente, se hará girar al cilindro también con mucha velocidad; y como en cada vuelta sube ó baja el cilindro, las líneas onduladas que resultan al rededor de él no se confundirán, pues formarán una hélice. Para conocer el tiempo, no sería exacto contar las vueltas del cilindro á no añadirle un contador especial; generalmente se hace vibrar al mismo tiempo otro cuerpo cuyo número de vibraciones se conoce; supongamos que el cuerpo conocido hace 852 vibraciones en 1 segundo, y que en el papel hay marcadas 355 de este y 315

del que se ensaya: si el cuerpo hace 852 vibraciones en 1 segundo, las 355 hará en 852: 1:: 355:x=355:852 si en este mismo tiempo el cuerpo ha hecho 315 vibraciones, en un segundo hará (355:852):315::1:x=315:(852:355)=756. Para sonidos producidos por un instrumento ó la voz humana, Scott se vale de su *fonotógrafo*, que es un tubo metálico que lleva una membrana tensa en uno de sus extremos, y á ella se adapta el estilete; en el otro extremo hay una gran recipiente que recoge el sonido, y este hace vibrar la membrana que señala en un cilindro como en el caso anterior.

228. Método de Kœnig.—Este físico ha visto que con la llama del gas, dispuesta en aparatos á propósito, pueden medirse las vibraciones de un cuerpo y comparar los sonidos. Se vale de un pequeño recipiente dividido en dos partes por medio de una plancha de goma elástica, muy delgada y bien tensa; á una de las partes llega el gas que ha de arder en un mechero en comunicación con ella: la otra parte tiene un tubo por donde recibe los sonidos, ó sea las ondulaciones producidas por ellos, las cuales hacen vibrar la membrana, y acortan ó alargan la luz: pero estas oscilaciones de la llama son poco perceptibles, y para que aparezcan más marcadas hay delante un prisma cuyas caras son cuatro espejos que giran por medio de un manubrio: la llama se mira en el prisma, y haciéndole girar, aparecen las diferentes imágenes separadas, y se perciben muy bien. Si es un solo sonido el que recibe el tubo la serie de imágenes en los espejos aparece como una banda dentada, á manera de una sierra de dientes largos y algo encorvados: si en el tubo se produce el sonido de la octava, ó del doble número de vibraciones, aparecen doble número también de dientes á la imagen; si entran los dos sonidos á la vez, aparecen los dientes de dos diferentes alturas: alternados; y si son otros sonidos, resultan de varios tamaños.

229. Escala musical.—Si un sonido aumenta ó disminuye de gravedad en intervalos particulares que fácilmente distingue un oído algo ejercitado, forma lo que se llama la *escala musical*, dándose á cada uno de estos sonidos los nombres de *do, re, mi, fa, sol, la, si*, que vuelven á repetirse; los siete solos que se llaman *notas* forman la *gama*. Es fácil medir la relación de los núme-

ros de vibraciones que un cuerpo produce para formar los diferentes sonidos de la escala, valiéndose de cualquiera de los métodos que se han estudiado; y conocidos estos números, se encontrarán los intervalos (223) dividiendo cada número relativo por el de la nota anterior: encontrados todos estos números resultan los siguientes:

Notas. *do . re . mi . fa . sol . . . la . . si . do.*

Número relativo

de vibraciones. $1 \dots \frac{9}{8} \dots \frac{4}{5} \dots \frac{4}{3} \dots \frac{3}{2} \dots \frac{5}{3} \dots \frac{15}{8} \dots 2.$

En números enteros 24 . 27 . . 30 32 36 40 . . . 45 . 48.

Intervalos $\frac{9}{8} \dots \frac{10}{9} \dots \frac{16}{15} \dots \frac{9}{8} \dots \frac{10}{9} \dots \frac{9}{8} \dots \frac{16}{15}.$

Intervalo desde *do* á . . . $\frac{9}{8} \dots \frac{5}{4} \dots \frac{4}{3} \dots \frac{2}{3} \dots \frac{5}{3} \dots \frac{15}{8} \dots 2.$

Según se ve los intervalos solo tienen 3 valores; el mayor es $\frac{9}{8}$, que se llama *tono mayor*, y se diferencia de la unidad en $\frac{1}{8}$; el segundo es $\frac{10}{9}$, llamado *tono menor*, y se diferencia de 1 en $\frac{1}{9}$; el tercero $\frac{16}{15}$, que es el menor de los tres, se llama *semi-tono*, porque su diferencia con 1 es $\frac{1}{15}$, próximamente la mitad de lo que se diferencian los tonos. El intervalo entre el tono mayor y el menor es $\frac{9}{8} : \frac{10}{9} = \frac{81}{80}$, llamado *coma*, tan pequeño que apenas es perceptible; por eso se dice que entre *do* y *re* hay un tono, lo mismo que entre *re* y *mi* y entre *mi* y *fa*, un semi-*tono*. Esta escala se llama *diatónica*.

230. Sostenidos. Bemoles.—El intervalo entre el tono menor y el semi-*tono* es $\frac{10}{9} : \frac{16}{15} = \frac{150}{144} = \frac{25}{24}$, y el intervalo entre el tono mayor y el semi-*tono* es $\frac{9}{8} : \frac{16}{15} = \frac{25}{24} + \frac{81}{80}$; y como este último factor puede suponerse igual á 1, resultará el intervalo de $\frac{25}{24}$ en este caso como en el otro. Si al lado de una nota se pone otra cuyo intervalo con ella sea un semi-*tono*, ó lo que es lo mismo, que el número de sus vibraciones se encuentren en la razón de 24 á 25, será un sonido más alto, y se llama *sostenido*; y si las vibraciones son de 25 á 24, es decir, que la nueva nota sea más baja de un semi-*tono*, se dice *bemol*. Intercalando estas notas en la escala *diatónica* (221), se hace una de 13 notas cuyos intervalos son solo de medio tono, y se llama *escala cromática*.

231. Diapasón normal.—Se ha tratado hasta ahora del número relativo de vibraciones de cada nota, pero es evidente que el absoluto dependerá del que se tome pa-

ra una de las notas cualquiera, y será fácil calcular el que producirá las demás. En Francia en 1859 se adoptó el *la* de 870 vibraciones sencillas ó 435 dobles, para sonido fundamental, haciéndose un *diapasón normal*, es decir, un diapasón (223) que da este género de vibraciones. Los ingleses han adoptado el *la* de 888 vibraciones; los belgas el de 906, y los alemanes el de 880. Kœnig ha formado una serie compuesta de 64 diapasones, de los cuales el primero es el *do* de 512 vibraciones, y el último el *do* de 1024, diferenciándose en 8 vibraciones el sonido de cada una; con esta escala, que ha llamado *tonómetro*, se arregla fácilmente y con toda exactitud los diapasones que se desea. Si dado el *la* se quiere el número de vibraciones que debe hacer otra nota, el *do* francés, por ejemplo, de la misma gama, se dividirá 435, vibraciones del *la*, por el intervalo que es $\frac{5}{3}$ entre *la* y *do* (229), y resulta: $435 \frac{5}{3} = 1305 \frac{1}{3} = 261$; el *do* de la octava alta será $261 \times 2 = 522$, y el de la baja $261 \frac{1}{2} = 130 \frac{1}{2}$.

232. Vibración de cuerdas.—Para estudiar los efectos producidos por la vibración de las cuerdas, se hace uso del aparato llamado *sonómetro*, que consiste en una caja de madera, de tablas delgadas, dispuestas para vibrar; una cuerda sujeta por un extremo y que sostiene en el otro un platillo, se tiende sobre dos puentes que lleva el aparato, y el cual está dividido en partes, y otro puente movil puede servir, colocado en el lugar conveniente, para acortar ó alargar la cuerda: con este aparato se puede apreciar la tensión de la cuerda, por el peso que se cuelgue en su extremo, la longitud por el puente movil, y el grueso, variando de cuerda. De las observaciones en él y por medio del cálculo, se ve que el número de vibraciones de una cuerda está en *razón inversa de su longitud, de su grueso, de la raíz cuadrada de su densidad, y en razón directa de la raíz cuadrada del peso que produce su tensión*; pero entendiéndose que estas leyes son para las vibraciones trasversales, es decir, las producidas en sentido perpendicular á las cuerdas, y no para las que también pueden producir en sentido de su longitud.

233. Puntos nodales.—Al vibrar las cuerdas se observan en ellas unos puntos en que las vibraciones son apenas sensibles, y que dividen á la cuerda en partes igua-

les, formándose entre ellos las verdaderas vibraciones en sentido inverso de uno á otro intervalo; estos puntos se llaman *nodos*, y los intervalos forman lo que se llama *vientres* de vibración. Pueden reconocerse los nodos colocando tiritas de papel montadas sobre diferentes puntos de la cuerda; haciéndola vibrar, veremos caer al instante algunos de ellos, quedando otros, en los que se advertirá muy poco movimiento. Se producen estos puntos nodales donde se desea, colocando el puente móvil en el sonómetro á diferentes distancias, sin pisar la cuerda encima de él; si se coloca á la tercera parte de la longitud de la cuerda y se hace vibrar la parte más corta, en la otra se produce un nodo en el centro, si á la cuarta, dos, y así en los demás casos.

234. Longitud de las cuerdas para las diferentes notas.—Colocando á distancias inversamente proporcionales á los números relativos de vibraciones de cada nota (229)* el puente móvil, se producen los 7 sonidos de la gama, puesto que se ha dicho (232), que el número de vibraciones es inversamente proporcional á su longitud. Si la cuerda entera reproduce el *do*, una longitud de $\frac{8}{9}$ de ella produce el *re*, $\frac{4}{5}$ el *mi*, $\frac{3}{4}$ el *fa*, $\frac{2}{3}$ el *sol*, $\frac{3}{5}$ el *la*, $\frac{8}{15}$ el *si*, y $\frac{1}{2}$ produce de nuevo el *do*; siendo con respecto á esta mitad las mismas fracciones las que producen iguales notas.

235. Vibración de placas.—Si se fija una placa por su centro ó por uno de sus extremos y se la hace vibrar, ya pasando un arco de violín por su borde, ó ya por la influencia de las vibraciones producidas por otro cuerpo en su inmediación, se observa que en placas enteramente iguales en todo, excepto en el grueso, el número de vibraciones está en *razón directa de este grueso*: y siendo todo igual excepto la superficie, se halla este número en *razón inversa de la extensión de la superficie*.

(Continuará).