

León Scott trabajó por espacio de muchos años en la construcción y perfeccionamiento de su aparato que trató de convencer á los sabios de que su invención era de grande y trascendental importancia. Pero no encontró apoyo, no halló quien lo animara, y en todas partes no tropezó sino con la mayor frialdad é indiferentismo.

León Scott era corrector de pruebas en una



Fig. 153. El fonotógrafo de Scott.

prenta de Paris, y era por lo tanto un hombre limitado y de muy limitados recursos; pero si hubiera sido miembro de alguna academia científica ó hubiera contado con amplios elementos, habría llegado antes vez al descubrimiento del fonógrafo, que tanta fama y renombre ha dado al inventor americano Thomas Alva Edison.

106. *El fonógrafo.*—Uno de los descubrimientos que indudablemente ha llamado más la atención en el siglo XIX, ha sido el que se refiere al grabado de

la voz humana en un aparato especial, de manera que pueda ser repetida á cualquier momento y escuchada por un gran número de personas.

¿Qué causas contribuyeron á la invención de tan maravilloso aparato cuya teoría acústica no está aún determinada de una manera que convenza?

El 31 de Julio de 1877, Edison obtenía privilegio para un registrador destinado á recibir la impresión de los despachos procedentes de una línea, transmitidos por el aparato Morse, y á transmitirlos inmediatamente de un modo automático por otra línea. El aparato Morse, en lugar de imprimir directamente en el despacho de llegada las letras del alfabeto, las reemplazaba por líneas formadas de trazos desiguales.

El registrador ó marcador cilindrico de Edison lleva una ranura poco profunda, á paso de tornillo y un estilete rígido, encargado de seguir esta ranura. Entre el estilete y el cilindro se encuentra arrollada una hoja de papel. Se concibe que estando el papel débilmente sujeto frente á la ranura, reciba en hueco los trazos y los puntos que constituyen el alfabeto de Morse. ¿Se quiere producir las señales? Tómase la hoja de papel y se coloca bajo otro estilete que comunica con un pequeño aparato llamado interruptor eléctrico. Cuando el estilete no encuentra huella, la corriente eléctrica pasa; pero cuando tropieza con un hueco, se hunde y queda interrumpida la corriente. Estas interrupciones sucesivas, que tienen la respectiva duración de las señales, se transmiten al extremo de la línea telegráfica, y el despacho puede así reproducirse en varios ejemplares por medios puramente mecánicos.

Un día, por mera distracción y también para poner

á prueba la habilidad de los telegrafistas y ver qué rapidez podían recibir y leer un despacho, Edison hizo marchar el aparato á gran velocidad. En el mismo instante en que la velocidad llegó á ser demasiado considerable para que fuese posible distinguir las señales de Morse, Edison observó que el aparato producía un sonido musical variable según las señales inscritas.

El infatigable investigador pensó al instante substituir las señales por un trazado que representase la palabra articulada.

En una hora reemplazó el registrador por un diafragma, es decir, por un tabique de papel impregnado de aceite y parafina, y la hoja de papel por una hoja de estaño. Luego se puso á hablar encima del diafragma, haciendo girar el cilindro del registrador. El estilete fijado en la parte inferior del diafragma y, de consiguiente, solidario con sus movimientos, se hundió en la hoja de estaño y dibujó las ondulaciones. La representación gráfica del sonido estaba obtenida: tratábase ahora de reproducirla. Edison quitó el primer diafragma y puso en su lugar otro provisto de una aguja fina y flexible. Hizo girar de nuevo el cilindro, y la aguja encostándose sobre la hoja de estaño los huecos y los dibujos dibujados por el estilete, transmitió al diafragma las vibraciones, esto es, los sonidos. ¡La máquina balbuceaba; el fonógrafo acababa de nacer!

107. El primer fonógrafo de Edison, que tan pronto como boga estuvo en la Exposición de electricidad de 1881 celebrada en París, distaba mucho de ser un instrumento perfecto. Sus sonidos eran nasales; las letras *oes* salían muy débiles, y reforzadas con una afectación cómica las *erres* y ciertas vocales. Solo

mente prestando un oído muy atento se podían comprender las palabras, articuladas bastante confusamente por el aparato, pero era de todo punto imposible reconocer la voz de la persona que primitivamente había hablado. Las inflexiones delicadas que dan matiz á la palabra, es decir, que constituyen su timbre y su entonación, no quedaban en manera alguna reproducidas.

El primer fonógrafo de Edison consistía en un



Fig. 154. El primer fonógrafo de Edison.

cilindro metálico que podía girar alrededor de un eje horizontal y trasladarse al mismo tiempo, por medio de una manivela. La superficie del cilindro llevaba una ranura helicoidal que se cubría con una hoja de papel de estaño. Sobre esta hoja se apoyaba una bocina ó embocadura cuyo fondo llevaba una lámina delgada de acero con un punzoncito metálico que era el encargado de transmitir las vibraciones á la hoja de estaño.

La imperfección principal del primer fonógrafo residía en la hoja de estaño. Hubiera sido necesario reemplazar este metal por una substancia á la vez

bastante blanda para recibir las menores huellas de la presión del estilete y bastante dura para conservarlas y permitir su exacta reproducción. Se presentaba en este asunto una dificultad análoga a la de la fabricación de los caracteres de imprenta: el plomo se aplastaba en la prensa, el antimonio se rompía. Una mezcla conveniente de los dos metálicos dio las cualidades apetecidas.

Ahora bien: de igual manera, el Sr. Sumner Tainter, de Washington, acababa de encontrar una substancia indispensable al fonógrafo.

Bajo el nombre de grafófono, Tainter había inventado, en 1885, un aparato inscriptor y reproducido de la palabra. Abandonando el uso defectuoso del estaño logró, tras largas y penosas investigaciones, encontrar una substancia perfecta en la mezcla de varias ceras de origen y cualidades diferentes.

Desde entonces el grafófono fué un instrumento práctico, y el fonógrafo no tardaría mucho en serlo.

En efecto: Edison introdujo en su aparato el procedimiento de Tainter, y, merced á esto, logró desaparecer la principal causa de la imperfección de que adolecía aquél.

La hoja primitiva de estaño ha sido reemplazada por un cilindro de cera de 115 milímetros de longitud y de 50 milímetros de diámetro.

Esta cera está formada por una mezcla de cera blanca del comercio (cera de abejas) y cera dura de carnoba.

El carnoba es una palmera que crece en abundancia en el Norte del Brasil, particularmente en la provincia de Ceára, y cuyas hojas segregan la cera. Esta cera vegetal se presenta en la cara superior, formando una materia seca y pulverulenta.

Del año de 1889 al año actual de 1912, es decir, en veintitrés años, el fonógrafo ha sido notablemente perfeccionado, tanto por Edison en su célebre laboratorio de Lewelyn Park, como por algunos constructores franceses.

De Edison conocemos los modelos «Standard» y «Home» con motor de cuerda y otro modelo con motor eléctrico, así como el «Gem» que se está popularizando mucho.

La compañía americana *Columbia* ha fabricado un

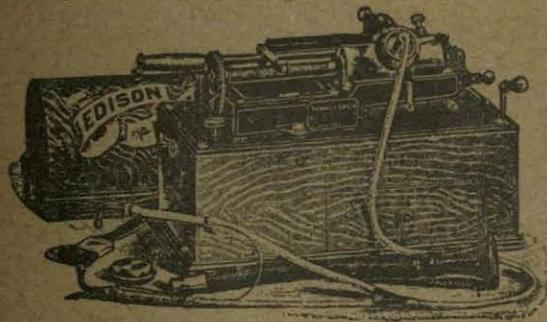


Fig. 155. El fonógrafo «Standard».

modelo que lleva la cuerda encerrada en un tambor y que permite reproducir cinco piezas, el modelo «Bijou», el «Universal» y un pequeño modelo muy sencillo y de muy fácil manejo, el «Aguila», que cuesta muy barato, lo que ha puesto á tan maravilloso invento al alcance de todas las personas.

En el modelo antiguo de fonógrafo, el cilindro, además de girar sobre su eje, se iba trasladando; en el modelo actual el cilindro no tiene otro movimiento que el de rotación y el diafragma es el que se va trasladando de izquierda á derecha.

108. *Grabado de los sonidos.*—He aquí la manera de grabar la voz humana en los tubos de cera del

fonógrafo: Se cambia el diafragma reproductor y el grabador y se apoya la punta de zafiro sobre el cilindro, en seguida se habla frente á la bocina con voz lenta, fuerte y clara, y entonces el estileto marcando en el cilindro una huella finísima. Después basta volver á colocar el diafragma reproductor para que inmediatamente se escuchen las mismas palabras que se acaban de pronunciar.

109. *Aplicaciones del fonógrafo.*—El fonógrafo está encontrando numerosas aplicaciones. Bajo el punto de vista pedagógico, creemos que este aparato puede ser de gran utilidad, pues una vez grabada una clase por la voz del maestro, los alumnos pueden oírla repetir muchas veces.

El fonógrafo puede servir también para grabar composiciones orquestales, piezas tocadas en piano y en otros instrumentos, con objeto de que las personas que se dediquen á la música puedan apreciar el estilo de los grandes maestros, apreciar las entonaciones de la armonía y el matiz de los acordes.

El fonógrafo sirve también para que un hombre de negocios dicte su correspondencia en los tubos y después el escribiente no tiene más que copiar lo que el aparato le dice. En muchas imprentas de Inglaterra y de los Estados Unidos los tipógrafos van parando la letra según las indicaciones del fonógrafo.

Los hombres de Estado, los abogados, los predicadores y oradores pueden estudiar sus discursos en el fonógrafo, teniendo la ventaja inapreciable de registrar las ideas á medida que se van presentando y con una rapidez que sólo puede ser igualada por la articulación. En seguida, cuando el fonógrafo

repite el discurso, se puede corregir la entonación y la inflexión. Los actores y los cantantes poseen igualmente un poderoso auxiliar en el fonógrafo.

Los periodistas pueden hablar sus artículos en el lugar de escribirlos, y entregar después los tubos á los cajistas para que los reproduzcan directamente de la voz.

Un fonógrafo puede hablar en todos los idiomas. En la Exposición de París, verificada en el año 1889, el Príncipe Taiëbbey habló frente al fonógrafo en árabe, y el aparato repitió las palabras con las inflexiones de voz y el acento de la persona que había hablado.

Edison ha construido *muñecas que hablan*; muñecas que son el encanto de las niñas y que llevan en su interior un tambor de gutapercha donde se han inscrito las palabras. En los talleres del gran inventor americano se construyen diariamente 500 *muñecas que hablan*.

#### VIBRACIONES DE LAS CUERDAS

110. Se da el nombre de *cuerdas* á unos cuerpos que tienen la forma de hilos delgados, de intestino ó de metal, que presentan la *elasticidad de tensión*. Para hacer vibrar una cuerda se la tiende entre dos puntos fijos y se excita con un arco ó con los dedos.

Las vibraciones pueden ser *transversales* ó *longitudinales*. Transversales son cuando se verifican perpendicularmente á la longitud de la cuerda y longitudinales cuando se verifican en el sentido de la longitud de la cuerda. Las primeras se producen con

un arco de violín ó con los dedos y las segundas frotando la cuerda con un paño untado de breca.

111. Las leyes de las vibraciones transversales de las cuerdas son cuatro:

1.<sup>a</sup> Ley de las longitudes.—*Dos cuerdas, de la misma substancia, del mismo diámetro y tendidas por el mismo peso, producen sonidos cuyos números de vibraciones son inversamente proporcionales á las longitudes de las cuerdas.*

2.<sup>a</sup> Ley de los diámetros.—*Dos cuerdas de la misma substancia, de la misma longitud y tendidas por el mismo peso, producen sonidos cuyos números de vibraciones son inversamente proporcionales á los diámetros.*

3.<sup>a</sup> Ley de las tensiones.—*Para una misma cuerda el número de vibraciones producidas en un segundo es proporcional á la raíz cuadrada del peso que tiene á la cuerda.*

4.<sup>a</sup> Ley de las densidades.—*Dos cuerdas de la misma longitud, del mismo diámetro y tendidas por el mismo peso, producen sonidos cuyos números de vibraciones son inversamente proporcionales á las raíces cuadradas de sus densidades.*

112. *Demostración de las leyes.*—Estas leyes se demuestran por medio del sonómetro de Marloye. El aparato se compone de una caja sonora de madera, de un metro de largo, próximamente, sostenida por dos pies de la misma substancia. Lleva la caja en su parte superior dos caballetes fijos sobre los cuales se apoyan las cuerdas y un caballete intermedio que se puede mover á voluntad.

De un lado está una polea por cuya garganta pasa la cuerda que ha de sostener el peso tensor. En la tapa de la caja hay una regla de madera dividida en centímetros y milímetros.

Para demostrar la primera ley se hace vibrar la cuerda en toda su longitud y se determina por medio de la sirena el número de vibraciones que suponemos sea igual á 522 en un segundo. Colocamos ahora el caballete móvil de tal manera que la longitud de la cuerda se reduzca á la mitad, la hacemos vibrar y determinamos que el número de vibraciones es de 1,044, es decir, doble de 522, con lo que queda demostrada la ley de las longitudes.

Para la ley de los diámetros se colocan dos cuer-

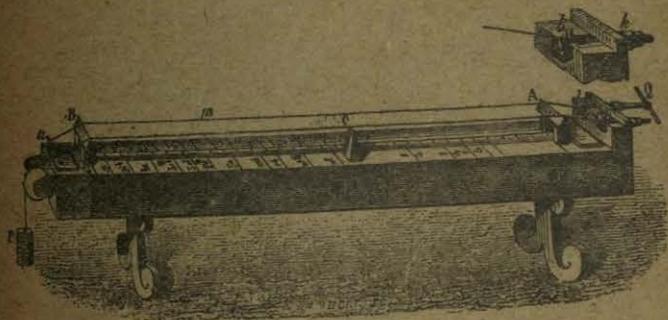


Fig. 156. El sonómetro de Marloye para demostrar las leyes de las vibraciones de las cuerdas.

das de la misma substancia tendidas por el mismo peso, y cuyos diámetros están por ejemplo en la relación de 2 á 1; se observa que la cuerda más gruesa da la octava grave de la cuerda más delgada, ó lo que es lo mismo, que ésta da doble número de vibraciones que aquélla. Para la ley de las tensiones se tiende una cuerda por un peso de un kilogramo, y después con un peso de cuatro kilogramos y se comprueba que la segunda da doble número de vibraciones que la primera.

Por último, para la verificación de la ley de las densidades se toman dos cuerdas del mismo diáme-

tro, una de platino y otra de fierro, y se comprime que bajo la acción de pesos iguales, producen dos cuyo intervalo está en razón inversa de las densidades, ó sea sensiblemente igual á la  $\sqrt{\frac{1}{2}}$ .

113. *Nodos y vientres.*—Cuando un cuerpo vibra las vibraciones no son comunes á toda la masa, que el cuerpo se divide generalmente en ciertos mero de partes alicuotas, animada cada una de las vibraciones que le son propias. Entre estas diver-

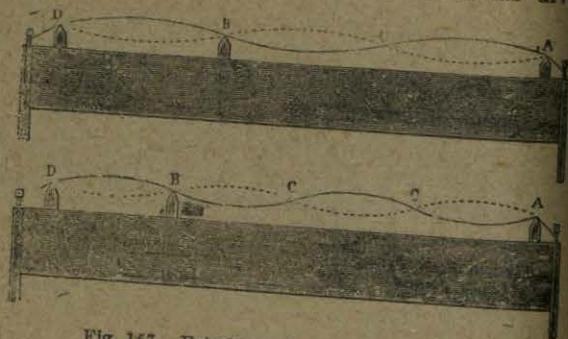


Fig. 157. Estudio de los nodos y vientres.

partes hay puntos ó líneas que vibran menos que las demás, pudiéndose considerar sensiblemente fijas. Estos puntos y líneas se designan respectivamente con los nombres de *nodos* y *líneas nodales*; las partes vibrantes comprendidas entre dos nodos se llaman *concameraciones*, y el centro de una concameración, que es el punto en que las vibraciones tienen amplitud máxima, se llama *vientre*.

Supongamos una cuerda A D que tiene un caballete colocado en B, que es el tercio de su longitud; si hacemos vibrar la porción B D con un arco, el resto A B de la cuerda se subdivide en dos partes B C y C A que vibran por separado, permaneciendo

fijo el punto C. Esto se puede comprobar poniendo varios papelitos doblados: uno en C, otro en B y C, y otro entre C y A, y al hacer vibrar la parte B D se observa que el papelito colocado en C apenas se mueve, mientras que los otros dos son arrojados á lo lejos. Por lo tanto, hay un nodo en C y vientres en los otros puntos.

Coloquemos ahora el caballete B en la cuarta parte de la cuerda, y si hacemos vibrar el espacio A B se producirán dos nodos en los puntos C y C' y tres vientres en los intervalos B C, C C' y C' A.

114. *Varillas y placas.*—Las varillas y las placas delgadas de cuerpos elásticos también son susceptibles de vibrar y presentan como



Fig. 158. Vibración de una placa cuadrada.

las cuerdas vibraciones transversales y longitudinales.

El cálculo demuestra que el número de vibraciones transversales de las varillas y placas de igual naturaleza está en razón di-

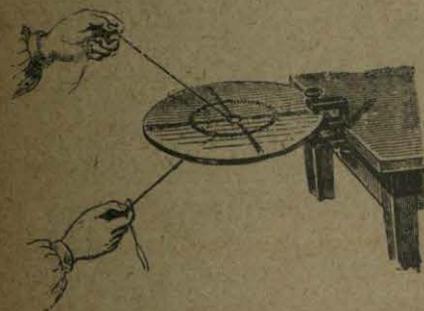


Fig. 159. Vibración de una placa circular.

recta de su grueso é inversa de su longitud.

En las varillas elásticas de igual clase el número de vibraciones longitudinales está en razón inversa de

su longitud, sean cuales fueren su diámetro y la forma de su sección transversal.

Para hacer vibrar una placa se le fija sólidamente en el centro ó en uno de sus bordes y se le hace vibrar ó frotando el borde con un arco de violín



Fig. 160. - El fuelle acústico.

haciendo pasar por su centro unas crines untadas de brea.

Las placas vibrantes presentan líneas nodales cuyo número y posición varía con la forma de las placas, su elasticidad, el modo de conmoción y el número de vibraciones. Pueden hacerse visibles las líneas nodales cubriendo las placas con una ligera

capa de marimaja antes de hacerlas vibrar. Cuando empiezan las vibraciones, las partículas de arena abandonan las partes vibrantes y se acumulan en las líneas nodales según lo indican las figuras 158 y 159. Estas líneas presentan siempre una gran simetría de forma y se reproducen idénticamente en una misma placa que se hace vibrar en igualdad de condiciones. El primero que dió á conocer este curioso fenómeno fué el físico Chladni.

115. *Fuelle acústico.*—El fuelle acústico, cuyo empleo es indispensable para el funcionamiento de la sirena y de los tubos, es un depósito de aire que se acciona por medio de un pedal. Entre los cuatro pies de una mesa de madera hay un fuelle S y un depósito R de piel flexible que sirve para almacenar el aire que le envía el fuelle. Moviendo con la mano la varilla ó vástago T se envía el aire por el conducto A á la caja m que está fija en la mesa y que tiene varios agujeros cerrados por valvulitas de cuero que se abren á voluntad apoyándose en pequeñas teclas situadas en la parte anterior. La figura 161 representa el pormenor de la válvula en el momento de apretar la tecla a.

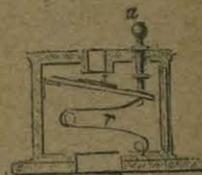
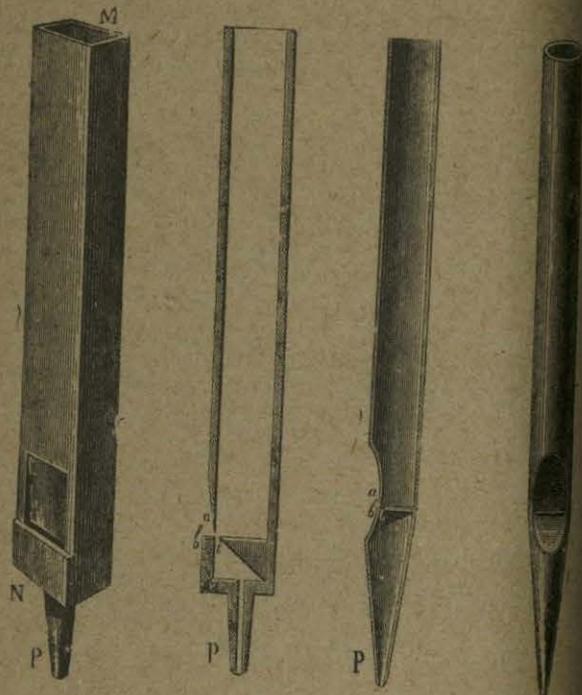


Fig. 161. Pormenor de la válvula.

#### VIBRACIÓN DEL AIRE EN LOS TUBOS SONOROS

116. Los tubos sonoros sirven para poner en evidencia que los gases pueden entrar en vibración lo mismo que los sólidos y los líquidos. Los tubos empleados en los instrumentos de viento son por lo general cilíndricos ó prismáticos y se construyen de

metal ó de madera. Se dividen en *tubos de boca* y *tubos de lengüeta*, según el procedimiento empleado para poner en vibración la columna de aire que encierran. La materia de que está hecho el tubo



Figs. 162, 163, 164 y 165. Tubos abiertos.

ejerce la menor influencia en la altura del sonido, lo único que se modifica es el timbre.

117. *Tubos de boca*.—Los tubos de boca son siempre de gran longitud comparada con su sección transversal. El extremo inferior P, por donde llega el aire, se llama *pie* y sirve para colocar el tubo en uno de los agujeros del fuelle acústico. Al salir del pie, el aire pasa por una hendidura estrecha y pe-

queña que se llama *luz*. Frente á ésta se halla en la pared opuesta una abertura transversal que se llama *boca*. El borde *a* cortado en forma de bisel es el *labio superior* y el borde *b* es el *labio inferior*; la reunión de todas estas partes constituye la embocadura.

Explicaremos ahora la causa de la producción del sonido.

La corriente de aire que entra por P se rompe contra el labio superior, se comprime, y á causa de su elasticidad reacciona sobre la corriente que continúa llegando y la detiene; pero esto no sucede sino en un espacio de tiempo muy corto, porque el aire sale por la boca y la corriente que entra por el pie sigue su camino. De aquí resultan vibraciones que se transmiten al aire en el tubo originando una serie de ondas tanto más rápidas cuanto mayor es la velocidad de la corriente y cuanto más cerca de la luz se encuentra el labio superior. Por supuesto que para que el sonido tenga pureza debe haber cierta relación entre las distintas partes de la embocadura.



Fig. 167. Tubo de lengüeta.

118. *Tubos de lengüeta*.—En los tubos llamados de lengüeta el aire entra en vibración mediante una pieza elástica especial, llamada lengüeta, y que puede ser fija ó libre.

La lengüeta fija se compone de una pieza de metal *a* que tiene forma de cuchara en el sentido de



Fig. 166. Tubo de lengüeta.

su longitud y que está fija en una especie de pón K taladrado por un agujero donde se fija el largo tubo T. La pieza *a* lleva una lámina *l* de latón delgado y flexible que tapa la entrada y es lo que propiamente deberíamos llamar la lengüeta. Un alambre *br*, que se puede subir ó bajar sirve para acortar ó alargar la parte vibrante, lo que permite aumentar ó disminuir el número de vibraciones.

Cuando llega la corriente de aire, pasa por el conducto de *a* y se encamina al tubo T, pero después como la velocidad de la corriente se acelera, la lengüeta choca contra los bordes del conducto é impide la salida del aire; después la lengüeta adquiere su primera posición, es arrastrada de nuevo cuando la corriente pasa y así sucesivamente; de manera que resulta un sonido tanto más agudo cuanto más rápida es la corriente de aire y más numerosas las vibraciones de la lengüeta.

En el año de 1810, el Sr. Grenié inventó una lengüeta que se llama libre, porque penetra en el conducto *a* rozando sus bordes y oscilando sin dificultad de dentro á fuera. La pieza *a*, en este caso, consiste en una pequeña caja de madera cuya pared anterior es una placa de latón. En medio de esta placa hay una abertura longitudinal y dentro está la lengüeta *l* que puede inclinarse libremente hacia adelante y hacia atrás para dejar pasar á la corriente de aire que raso los bordes de la hendidura.

119. Las leyes de los tubos sonoros son:

1.<sup>a</sup> La materia de que están hechos los tubos sonoros no tiene influencia sobre la elevación de los sonidos que producen; no hace más que cambiar su timbre.

2.<sup>a</sup> En tubos abiertos ó cerrados, de longitudes diferentes, los números de vibraciones correspondientes al sonido fundamental están en razón inversa de las longitudes de los tubos.

*Ley del padre Mersenne.* — Dos tubos semejantes emiten sonidos cuyos números de vibraciones están en razón inversa de las dimensiones homólogas. Por ejemplo, si se hace vibrar sucesivamente el aire contenido en tubos semejantes cuyas dimensiones homólogas estén en las relaciones de 1 á  $\frac{1}{2}$ , el más pequeño producirá un sonido en la octava aguda del sonido que produce el mayor.

Los tubos presentan también, como las cuerdas, nodos y vientres de vibración.

120. *El diapasón.*

—El diapasón es un instrumento de acero en forma de herradura, que sirve para regular y acordar los diferentes instrumentos de música. Se hace vibrar este instrumento pegando en él con un cuerpo resistente ó separandobruscamente sus ramas. El diapasón de orquesta da un *la* que produce 870 vibraciones por segundo.

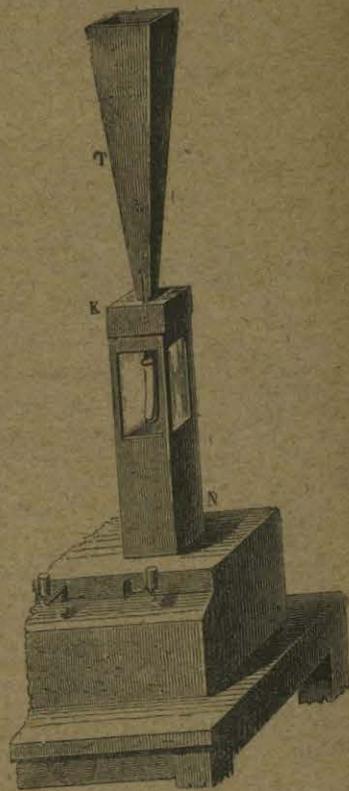


Fig. 168. Tubo de lengüeta colocado en el fuelle acústico.

121. *Refuerzo de los sonidos.* — Cuando una cuerda vibra, produce *simultáneamente* varios sonidos que se funden, por decirlo así, en una sola impresión que recibe el oído. El experimento demuestra que la cuerda produce el sonido fundamental acompañado de varios de sus armónicos. La superposición de los armónicos al sonido fundamental, da al sonido producido un carácter particular llamado timbre. En apariencia el sonido es simple, pero en

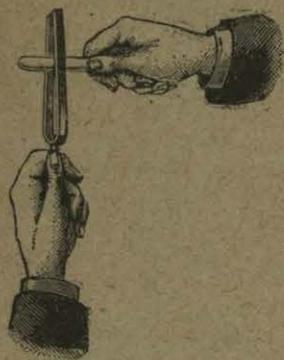


Fig. 169. El diapasón.

realidad es compuesto.

El oído se acostumbra á fundir los armónicos con el sonido fundamental; sin embargo, con una poca de atención los armónicos se hacen separadamente perceptibles.

El Sr. Helmholtz (\*) dió un método para analizar los sonidos compuestos, fundándose en el refuerzo de los sonidos.

Hagamos vibrar un timbre de bronce T y aproximemos un tubo de cartón A cerrado herméticamente por un disco que se puede introducir más ó menos con la mano. Se comprueba que el sonido producido por el timbre será súbitamente reforzado cuando el disco de cartón haya penetrado una longitud determinada.

La intensidad de un sonido aumenta con la vecin-

(\*) Helmholtz nació en Potsdam en 1821, fué profesor de la Universidad de Heidelberg; se le deben notables trabajos sobre acústica.

La primera línea de números da los intervalos de cada nota con respecto á la primera y la nota con que comienza la escala se llama *tónica*; la segunda línea da los intervalos de cada nota á la precedente.

Tomando como origen el sonido más grave para elevarse hasta el más agudo, se obtiene una serie de gamas que se reproducen en el mismo orden y cuyo conjunto forma lo que se llama la *escala musical*.

Para poder distinguir las gamas sucesivas se ha convenido tomar como punto de partida el *do* que corresponde al sonido más grave del violoncello y que da 65 vibraciones por segundo. Las notas de esta gama llevan el índice 1, y así tenemos *do*, *re*, *mi*, *fa*, etc. Las notas de la gama siguiente llevarán el índice 2, las de la siguiente el índice 3, etc. Pero si consideramos gamas más graves que la primera del violoncello entonces los índices van acompañados del signo *menos*. El sonido más grave que se emplea en la música es el *do*<sub>2</sub>, al que corresponden 16 vibraciones por segundo, y es producido por el gran bordón ó bajo de los órganos, que es un tubo cerrado de 16 pies de longitud.

El oído no recibe impresión agradable más que por las combinaciones de sonidos cuyas alturas tienen por relación un número sencillo; esos sonidos pueden ser sucesivos como en la *melodía*, ó simultáneos como en la *harmonía*.

Supongamos que se represente por 1 la longitud de una cuerda tendida sobre el sonómetro y que se adopte el sonido fundamental que produzca como el *do* de la gama. Para producir la gama natural habrá que ir colocando el caballete móvil de modo que resulten las siguientes longitudes:

do <sub>1</sub>	re	mi	fa	sol	la	si	do <sub>2</sub>
1	8	4	3	2	3	8	1
	—	—	—	—	—	—	—
	9	5	4	3	5	15	2

Números que son la inversa de los que indican antes para los intervalos.

Puesto que hemos dicho que al do<sub>1</sub> corresponden 65 vibraciones por segundo, á las demás notas de la misma gama corresponderán los números que en seguida se expresan.

do <sub>1</sub>	re	mi	fa	sol	la	si	do <sub>2</sub>
65	73	81	87	98	109	122	130

Si se desea determinar los números de vibraciones que corresponden á las notas de las demás gamas, bastará multiplicar ó dividir los números anteriores por 2, por 4, por 8, etc., según que las gamas sean más altas ó más bajas.

124. *Tonos y semitonos.*—Dijimos antes que entendía por intervalo la relación de un sonido con otro. Según la distancia que separa los dos sonidos considerados, el intervalo va tomando los nombres de *segunda*, *tercera*, *cuarta*, etc. El intervalo de do<sub>1</sub> á re<sub>1</sub> es una *segunda*; de do<sub>1</sub> á mi<sub>1</sub> una *tercera*; de do<sub>1</sub> á fa<sub>1</sub> una *cuarta*; de do<sub>1</sub> á sol<sub>1</sub> una *quinta*; de do<sub>1</sub> á la<sub>1</sub> una *sexta*; de do<sub>1</sub> á si<sub>1</sub> una *séptima*; de do<sub>1</sub> á do<sub>2</sub> una *octava*.

Vimos antes (pág. 210) que los intervalos de una nota á la precedente en una gama tenían por nombres los siguientes:

do-re,	re-mi,	mi-fa,	fa-sol,	sol-la,	la-si,	si-do
9	10	16	9	10	9	16
—	—	—	—	—	—	—
8	9	15	8	9	8	15

Vemos por esto que los intervalos comprendidos entre dos notas consecutivas no tienen todos el mismo valor. Son tres las relaciones que observamos: la mayor  $\frac{9}{8}$  se llama *tono mayor* y existe entre do-re, re-mi y la-si; la siguiente  $\frac{10}{9}$  se llama *tono menor* y existe entre re-mi y sol-la, y la más pequeña  $\frac{16}{15}$  ha recibido el nombre de *semitono* y existe entre mi-fa y fa-sol.

125. *Sostenidos y bemoles.*—Entre las ocho notas de la gama hay intercaladas otras que se designan con los nombres de *sostenidos* y *bemoles*, y cuyo objeto principal es formar una gama sirviéndose de una nota cualquiera como punto de partida. Supongamos, por ejemplo, que se quiera comenzar una gama por el re, que se escoja como tónica. Examinemos la serie re<sub>1</sub>, mi<sub>1</sub>, fa<sub>1</sub>, sol<sub>1</sub>, la<sub>1</sub>, si<sub>1</sub>, do<sub>2</sub>, re<sub>2</sub>, y vemos que los intervalos mi-fa y si-do que deben reemplazar á los intervalos re-mi y la-si no tienen más que un semitono, debiendo corresponderles un tono; entonces es preciso para restablecer la melodía, elevar un semitono las notas fa y do; lo que se consigue multiplicando por  $\frac{25}{24}$  los números de vibraciones que corresponden á cada una de ellas. El número  $\frac{16}{15}$  se convierte entonces en  $\frac{10}{9}$  que equivale á un tono, y el fa y el do toman el nombre de fa sostenido y do sostenido que se representan fa $\sharp$  y do $\sharp$ . Pero supongamos que se quiere representar la gama tomando como tónica la nota fa, lo que daría la siguiente serie:

fa<sub>1</sub> sol, la, si, do, re, mi, fa<sub>2</sub>

Se observa que los intervalos la-si y si-do que reemplazan á los intervalos mi-fa y fa-sol, tienen: el primero un semitono de más y el segundo un semi-

tono de menos. Para dar á cada uno el valor de la *si* habrá que bajar la nota *si* un semitono, es decir, reemplazarla por una nota cuyo intervalo sea el mismo con el *la* equivalga á un semitono y con el *do* sea un semitono. Esto se consigue dividiendo por  $\frac{25}{24}$ , ó lo mismo, multiplicando por  $\frac{24}{25}$  el número de vibraciones correspondientes al *si*. Esta nueva *si* toma el nombre de *si bemol* y se representa así.

Así, pues, sostener ó bemolizar una nota es bajarla ó bajarla medio tono á fin de poder reproducirla en la gama ordinaria de *do* siempre que se compare por cualquier otra nota.

126. *Gama cromática.*—El sostenido de una nota no es rigurosamente igual al bemol de la nota siguiente. El *re bemol*, por ejemplo, es un poco más alto que el *do* sostenido; pero siendo muy pequeño el intervalo que existe entre ellos, se admite tomar el sostenido de una nota por el bemol de la siguiente.

La gama queda dividida entonces en doce intervalos ó semitonos iguales entre sí y cuya reunión constituye lo que se llama la gama cromática.

127. *Acordes.*—El conjunto de varios sonidos que produce una sensación agradable al oído recibe el nombre de *acorde*.

La nota más grave del acorde se llama *tónica* y la más aguda *dominante*.

Los acordes perfectos son aquellos que resultan de sonidos cuyas vibraciones están en una relación sencilla. Así, por ejemplo, en el acorde perfecto *do mi sol*, que es el más agradable al oído, las vibraciones son entre sí como los números 4, 5, 6.

Cuando se hace vibrar una cuerda de violín se oye no solamente el sonido principal de esta cuer-

da, sino que se distingue también su doble quinta y su triple tercera. Esto se explica admitiendo que la cuerda no solamente vibra en toda su longitud, sino que ciertas partes de la misma cuerda vibran separadamente y producen sonidos secundarios que producen una agradable armonía con el sonido principal, por lo que han recibido el nombre de *sonidos harmónicos*. Este hecho queda demostrado con el experimento de los caballetes de papel que mencionamos ya y que se debe á Saveur.

128. *Causas que hacen variar la intensidad del sonido.*—Las principales causas que hacen variar la intensidad del sonido son cinco, que sucesivamente estudiaremos: la distancia del cuerpo sonoro, la amplitud de las vibraciones, la densidad del aire en el lugar en que se produce el sonido, la dirección de las corrientes de aire y la cercanía de otros cuerpos sonoros.

1.<sup>a</sup> *La intensidad del sonido está en razón inversa del cuadrado de la distancia al cuerpo sonoro.*—Si colocamos á una distancia de 30 metros nueve timbres idénticos que sean heridos simultáneamente por martillos del mismo peso y cayendo de igual altura, el sonido producido será igual al que produzca un solo timbre que se haga sonar á la distancia de 10 metros; así es que cuando la distancia es triple, la intensidad del sonido se hace nueve veces menor.

2.<sup>a</sup> *La intensidad del sonido aumenta con la amplitud de las vibraciones.*—Se hace uso de una cuerda de un metro de largo, cuyas vibraciones se observan muy bien á la simple vista y se percibe que conforme disminuye la amplitud de las oscilaciones el sonido se debilita.

3.<sup>a</sup> *La intensidad del sonido depende de la densi-*

*dad del aire.* — Si hacemos sonar un timbre de la campana de la máquina neumática, se ve que la intensidad del sonido decrece á medida que se enrarece el aire. En el hidrógeno, que es casi dos veces y media menos denso que el aire, los sonidos tienen una intensidad muy débil, aun cuando la presión sea la misma. En cambio, en el ácido carbónico, que es más denso que el aire, los sonidos son más intensos.

4.<sup>a</sup> *La intensidad del aire se modifica por la dirección del aire y la dirección de los vientos.* — No se ignora que cuando el aire está en calma el sonido se propaga mejor que cuando hace viento, y en este caso el sonido se intensifica si el observador se encuentra en la dirección del viento, pero si se halla en dirección contraria, el sonido se debilita y aun puede perderse por completo.

5.<sup>a</sup> *El sonido se refuerza con la cercanía de un cuerpo sonoro.* — Una cuerda de violín tendida al aire produce, cuando se la frota, un sonido muy débil, pero si se la tiende sobre una caja sonora, como sucede con una guitarra ó violín, da un sonido muy intenso, lo que se debe á que la caja y el aire que contiene entran en vibración al unísono de la cuerda.

Un diapasón que vibra en el aire produce un sonido casi inaudible; pero apenas se le apoya sobre una mesa, la intensidad aumenta notablemente.

El notable popularizador Camilo Flammarion ha comprobado que los sonidos se propagan mucho mejor en el aire de abajo arriba que de arriba abajo.

Estando en globo á 1,800 metros sobre el suelo ha percibido muy bien el ladrido del perro, y á los 900 metros ha oído el canto de la rana. En cambio, las

personas que están en tierra no oyen las palabras dirigidas desde la canastilla de un globo á 100 metros de altura.

En la ascensión del 23 de Junio de 1867, hallándose Flammarion á 1,400 metros sobre el suelo, oyó con perfecta claridad una pieza de orquesta tocada en la población de Antony. El globo estaba rodeado de nubes, y éstas en lugar de oponerse á la transmisión del sonido lo reforzaban, y parecía que la orquesta estaba muy cerca de los aeronautas.