

Sobre aquellos gorjeos y aquellas voces descuellan los cantos de los gallos, los ladridos de los perros, los saltos de los carros sobre el empedrado, las campanadas de las torres y algunas que otras voces humanas, todo lo cual canta, grita, chilla, habla y resuena á la vez, sin que tan diversos sonos se confundan en el oído. Estos sonidos múltiples,

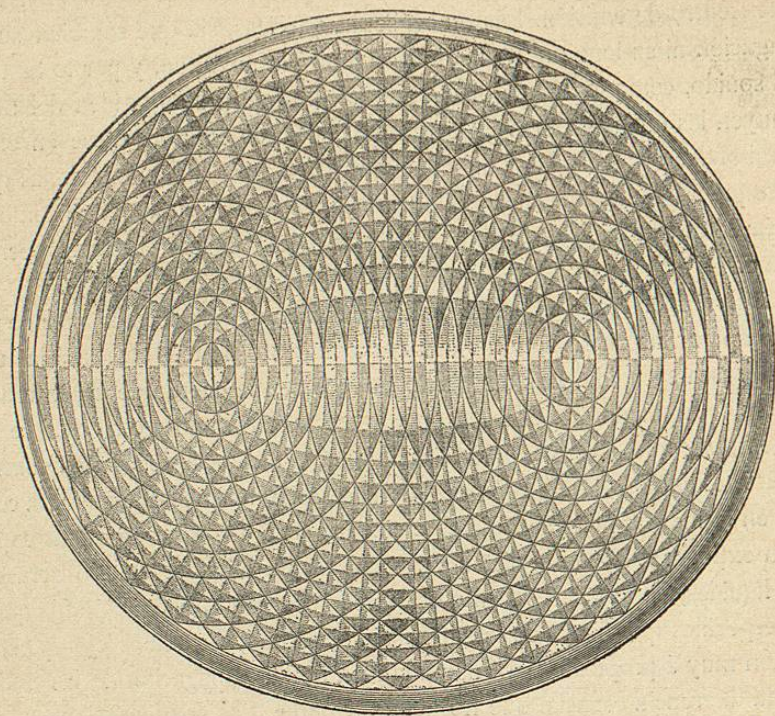


Fig. 277.—Coexistencia de las ondas. Propagación y reflexión de las ondas líquidas en la superficie de un baño de azogue

cuya simultaneidad sería discordante si todos ellos se produjesen en un reducido espacio y sus resonancias aumentasen su confusión, se esparcen por la vasta extensión de

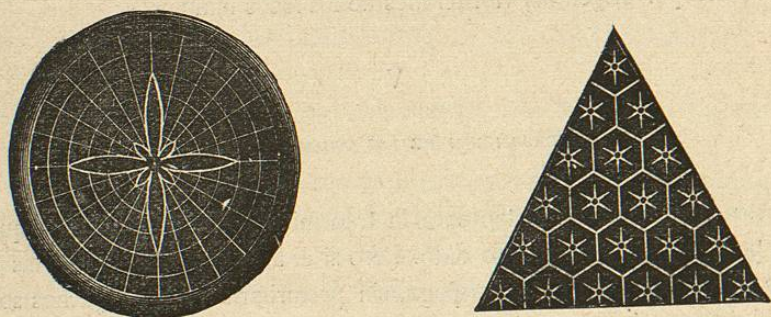


Fig. 278.—Vibraciones del azogue en la superficie de una vasija circular y de otra triangular (según M. Barthélemy)

las capas de aire que pesan sobre la llanura, fundiéndose así en agradable armonía. Y aquí se nos ocurre de nuevo la misma pregunta. ¿Cómo puede el aire transmitir á la vez y distintamente tantas ondulaciones emanadas de distintos centros, tantas vibraciones que no son isócronas? ¿Cómo pueden coexistir la intensidad, el tono y el timbre de cada sonido en ese medio elástico y movable, sin sufrir alteración?

Hay en esto un problema cuyos datos son tan complejos que se eximen del análisis. Sin embargo, la teoría da cuenta de estos fenómenos cuya explicación parece tan difícil á primera vista, justificando sus conclusiones algunos experimentos sencillos. Daniel Bernouilli y Euler, sabios geómetras del siglo pasado, han demostrado el principio de la *coexistencia de pequeños movimientos, de tenues oscilaciones* en un mismo medio. Esto en cuanto á la teoría.

Ahora echemos al agua, en puntos inmediatos, dos ó más piedras, y veremos los círculos concéntricos producidos por ellas, cruzándose sin destruirse, sobre todo si su amplitud no es muy grande. La figura 277 muestra á la vez cómo se cruzan las ondas sonoras en la superficie de un líquido y cómo se reflejan en las paredes de una vasija. La forma de ésta es elíptica; está llena de mercurio, y las ondas que se ven en su superficie son las que ha producido la caída de una gotita de dicho líquido en uno de los focos de la elipse; de aquí resultan ondas circulares concéntricas en este foco, todas las cuales convergen en el segundo foco de la curva. Otro tanto sucedería si cayeran dos gotitas á la vez en cada foco (1).

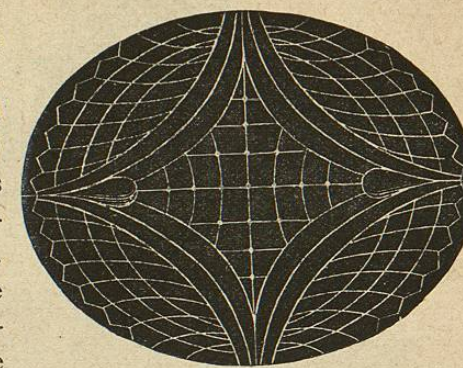


Fig. 279.—Vibraciones del azogue en la superficie de una vasija de forma elíptica

Así pues, este ingenioso experimento demuestra, por una parte, la existencia de las ondas simultáneas, y por otra la ley de su reflexión. Haciendo la restricción de que hemos hablado anteriormente sobre la dirección de las ondas sonoras, da una idea bastante exacta de la reflexión de los sonidos y de su propagación simultánea en el aire.

CAPÍTULO VI

LAS VIBRACIONES SONORAS

I

EL TONO Ó ALTURA DE LOS SONIDOS ESTÁ EN RAZÓN DEL NÚMERO DE VIBRACIONES SONORAS

Si se comparan entre sí las sensaciones que las vibraciones de los cuerpos sonoros producen en el órgano del oído, se verá que se distinguen por varios caracteres que hemos tenido ya ocasión de indicar, y que son el *tono*, la *intensidad* y el *timbre*.

Hay empero sonidos cuyo tono no es posible apreciar, comprendiéndoseles con el nombre de *ruidos*, por oposición á los *sonidos musicales*, cuya definición consiste precisamente en que son sonidos comparables entre sí por lo que respecta al tono. Ocupémonos ante todo de los sonidos musicales, y veamos á qué causa física deben su origen.

(1) M. Barthélemy, profesor de física en el Liceo de Tolosa, ha hecho interesantes experimentos sobre la forma de las vibraciones comunicadas por un foco sonoro á los líquidos contenidos en vasijas de forma determinada. Los grabados 278 y 279 representan dos de las figuras obtenidas por dicho profesor.

Todos sabemos distinguir los sonidos agudos de los graves, cualquiera que sea el cuerpo sonoro que los produzca. Dícese de dos sonidos del mismo tono que están al *unísono*. Por lo regular, los oídos menos ejercitados reconocen el unísono y saben apre-

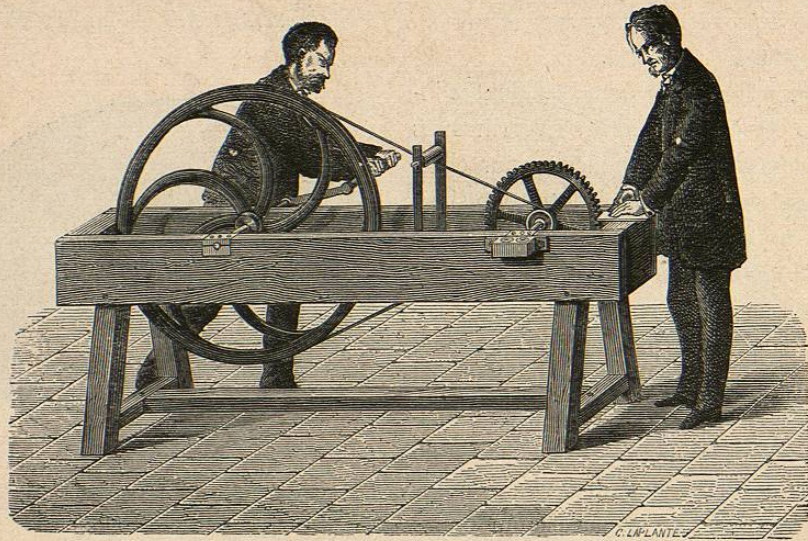


Fig. 280.—Rueda dentada de Savart

ciar cuál de dos sonidos próximos á él es el más alto. Lo que tenemos que estudiar ahora es la causa física de estas diferencias, muy sencilla por cierto, y que consiste en lo siguiente:

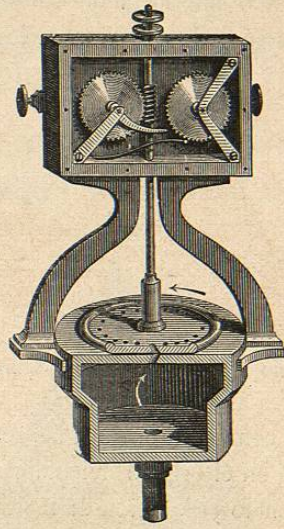
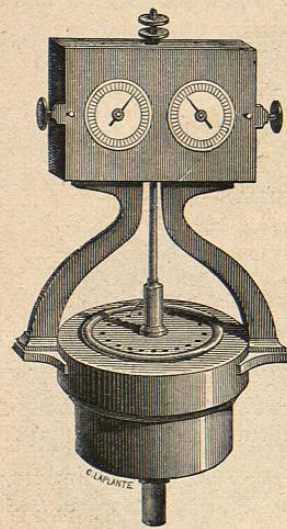


Fig. 281.—Sirena de Cagniard-Latour (vista exterior) Fig. 282.—Vista interior y sección de la sirena

La altura ó tonalidad de un sonido depende únicamente del mayor ó menor número de vibraciones ejecutadas á la vez por el cuerpo sonoro y por los medios en los cuales se propaga el sonido; mientras mayor sea el número de vibraciones, más agudo es el sonido, y cuanto menor el número de aquéllas, más grave será éste. Veamos por medio de qué experimentos han llegado los físicos á comprobar esta importante ley, y

cómo han procedido para contar estos movimientos que la vista ó los demás sentidos sólo pueden percibir muy confusamente.

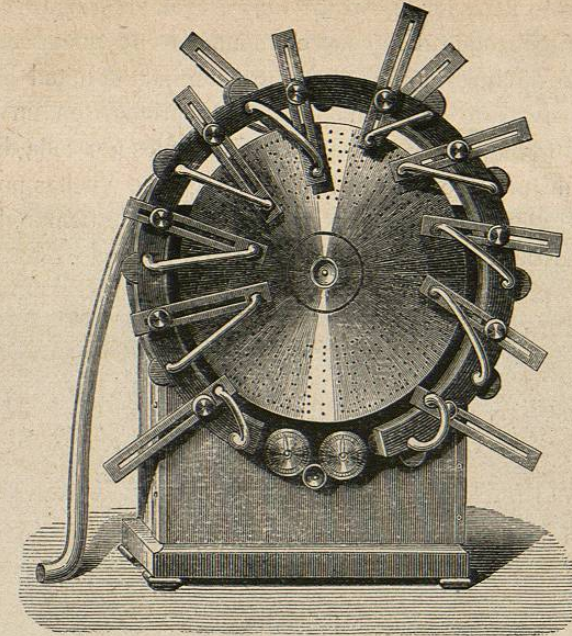


Fig. 283.—Sirena de Seebeck

Con la *rueda dentada*, ideada por Savart (fig. 280), se puede contar el número de vibraciones que corresponde á un sonido dado. En este aparato se produce el sonido

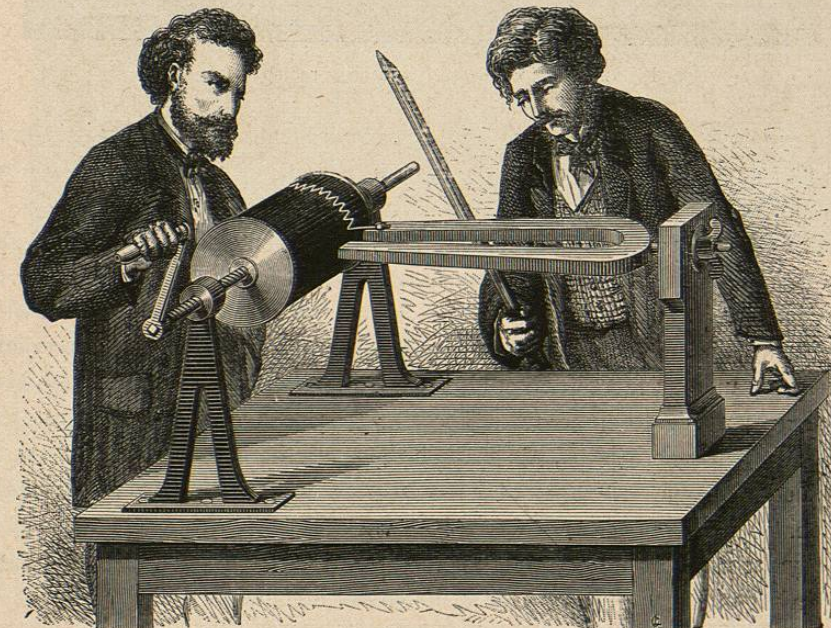


Fig. 284.—Estudio gráfico y anotación de las ondas sonoras

mediante el choque de un naipe contra los dientes de una rueda que se hace girar con un manubrio. Cuando la velocidad de ésta es pequeña, sólo se oye una serie de ruidos aislados, cuyo conjunto no llega á producir, hablando con propiedad, ningún sonido, y

cuyo tono es por consiguiente inapreciable; pero conforme crece la velocidad de la rueda, las vibraciones multiplicadas del naípe se transmiten al aire produciendo un sonido continuo, tanto más agudo cuanto mayor es la velocidad. A la rueda dentada va adaptado un contador que da á conocer el número de vueltas en un segundo de tiempo; este número, multiplicado por el de los dientes, da la mitad del número total de vibraciones, pues es evidente que el naípe, doblado primero en un sentido, vuelve á recobrar su primera forma, dando dos vibraciones simples por cada diente que pasa.

Savart obtuvo de una rueda de 600 dientes hasta 40 vueltas por segundo, y por consiguiente 48,000 vibraciones simples en igual espacio de tiempo, lo que corresponde, como se verá más adelante, á un sonido en extremo agudo.

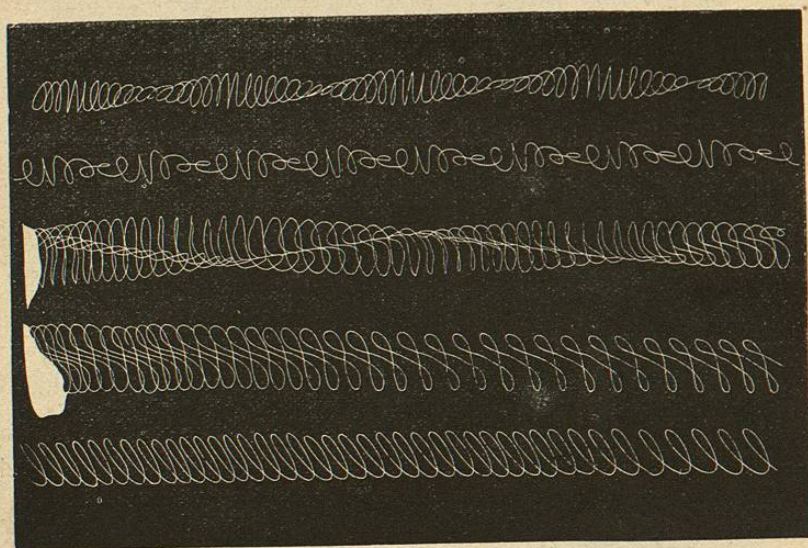


Fig. 285.—Movimientos vibratorios rectangulares

La *sirena*, inventada por el físico francés Cagniard-Latour, permite asimismo medir, y con mayor precisión que la rueda dentada de Savart, las vibraciones de un sonido determinado.

Produce el sonido en este aparato (fig. 281) la corriente de aire de una caja de fuelles acústicos que pasa por una serie de agujeros abiertos á igual distancia en las circunferencias de dos discos metálicos, uno de los cuales es fijo y el otro móvil (figura 282). Cuando los orificios de ambos discos están uno frente á otro, la corriente de aire pasa, y obrando su fuerza de impulso en los canales oblicuos que forman los orificios, pone en movimiento el disco superior. Por consecuencia de este movimiento rotatorio, la coincidencia de los agujeros cesa, se restablece de nuevo para cesar otra vez, resultando de aquí una serie de vibraciones cada vez más rápidas en el medio que rodea al instrumento. Si éste tiene 20 orificios, cada vuelta del disco producirá 20 vibraciones, de suerte que, contando el número de vueltas que se efectúan para un sonido determinado en un segundo, se puede calcular fácilmente el número total de vibraciones. El eje del disco móvil lleva en su parte superior un tornillo sin fin, el cual engrana con una rueda dentada que tiene tantos dientes como divisiones hay en un cuadrante exterior. Cuando la rueda avanza un diente, la aguja adelanta una división, por manera que el número de divisiones recorridas por la aguja da el de vueltas, y de consiguiente, en virtud de una simple multiplicación, se sabe el de las vibraciones sonoras. Al final de

cada vuelta, un rastrillo ó lengüeta pone en movimiento una segunda rueda, que anda una división, de suerte que si la primera rueda tiene 100 dientes, la aguja del segundo cuadrante señala las centenas de vueltas.

El contador está dispuesto de modo que no funciona sino cuando se quiere, es decir, cuando la velocidad adquirida ha acabado por producir el sonido cuyo tono se desea averiguar. La dificultad estriba en conservar la constancia de la velocidad, para que resulte un sonido de altura invariable durante un espacio de tiempo suficientemente largo.

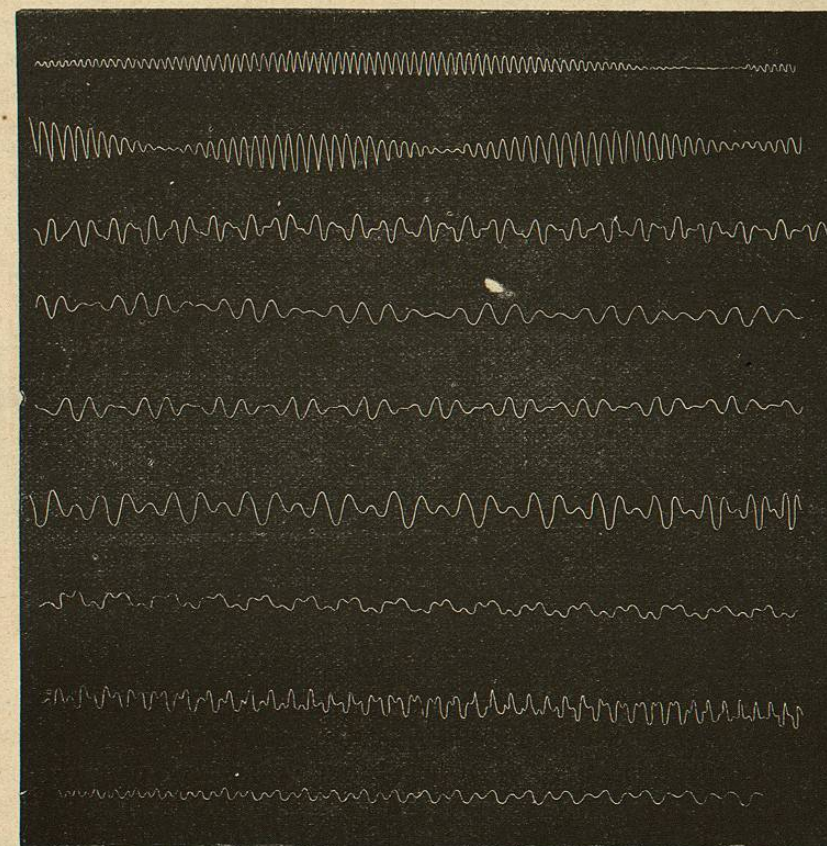


Fig. 286.—Pruebas de la combinación paralela de dos movimientos vibratorios

La sirena funciona también en el agua, siendo entonces el líquido el que, saliendo por los agujeros por efecto de la presión de una columna de agua bastante elevada, produce las vibraciones. El sonido que resulta prueba que los líquidos entran directamente en vibración como los gases, sin que el sonido les sea comunicado por las vibraciones de un sólido. El nombre de sirena procede precisamente de esta circunstancia, de que el instrumento canta en el agua como las sirenas de la fábula.

La sirena de Seebeck, representada en la figura 283, está construida de muy distinto modo, pero el principio es el mismo, es decir, que el paso del aire por los agujeros de un disco produce el sonido. Un aparato de relojería pone en movimiento el disco, y también se calcula con un contador la velocidad de su rotación. Alrededor hay un colchonete que comunica con una caja de fuelles y que es el distribuidor de la corriente gaseosa que pasa por unos tubos de goma á la serie de orificios del disco que se propone emplear el experimentador.

Variando el número y la distribución de los orificios en discos diferentes, se puede hacer con esta sirena una porción de experimentos.

Por último, merced á ciertos procedimientos gráficos ha poco discurridos y cuya primera idea pertenece á Duhamel, se puede calcular, ó mejor dicho, contar con exactitud el número de vibraciones sonoras. Un estilete, ó un diapasón provisto de una punta muy fina, traza al vibrar líneas onduladas en la superficie de un cilindro giratorio, dado de negro de humo. El número de sinuosidades marcadas de este modo es el de vibraciones (fig. 284). Empléase principalmente este método cuando se quiere comparar el tono ó altura de dos sonidos. Por ejemplo, se puede fijar en el diapasón el estilete que traza las líneas sinuosas, y en otro diapasón la lámina cubierta de negro de humo en que éstas se marcan. Haciendo vibrar entonces simultáneamente ambos diapasones,

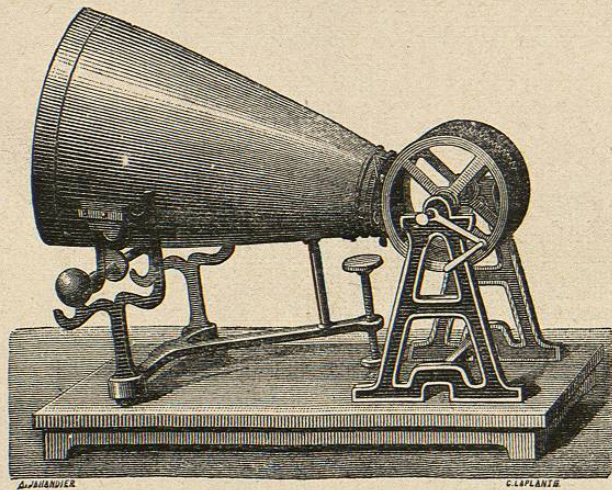


Fig. 287.—Fonautógrafo

la línea sinuosa que quedará trazada será á no dudarlo el resultado de la combinación de dos movimientos vibratorios, paralelos si los dos diapasones vibran en el mismo sentido, y rectangulares si están situados en ángulo recto. Las figuras 285 y 286 son facsímiles de pruebas obtenidas por ambas combinaciones en diversos intervalos musicales. Volveremos á ocuparnos de este aparato cuando describamos el método óptico de M. Lissajois.

El *fonautógrafo* no difiere de los aparatos anotadores de Duhamel sino porque con él se pueden recoger las ondas sonoras aéreas. Consiste en una anchá parabolóide (figura 287), cortada en su foco según una sección en la que se sujeta una membrana elástica y que tiene precisamente por objeto reflejar y condensar en el foco las ondas sonoras. La membrana puesta en vibración por estas ondas lleva un estilete que inscribe los movimientos sinuosos en el cilindro, al cual hace girar uniformemente un aparato de relojería.

El maravilloso aparato inventado por Edison y que lleva el nombre de *fonógrafo* viene á ser derivación del aparato anterior. Su objeto es reproducir, siempre que se desee, los sonidos y palabras.

El fonógrafo (fig. 288), cuyo mecanismo y manejo son por demás sencillos, se compone de un cilindro de latón C atravesado por un eje AA' que por ambos extre-

mos entra á rosca en los dos soportes sobre los cuales cabalga. La superficie del cilindro tiene una estría en hélice, y sobre aquélla se aplica una hoja de papel de estaño ó de cobre muy delgada que se adapta en lo posible á las sinuosidades de la estría, para que el estilete de que luego hablaremos pueda recorrer sin notable resistencia todo el hueco de ésta desde el momento en que se pone en movimiento el cilindro C. Este movimiento, impreso por el manubrio M, es doble: de rotación alrededor del eje, y de traslación rectilínea en el sentido de la longitud del mismo.

Delante del cilindro en cuestión se halla la parte verdaderamente acústica del sistema. Compónese de una lámina vibrante muy sutil, indicada con la letra P en la figura 289, que representa la sección transversal del instrumento. Sobre la cara anterior de esta lámina se ajusta la embocadura E, muy parecida, lo propio que el diafragma, á los órganos similares del teléfono. En la cara posterior, y fijo al extremo de un resorte, há-

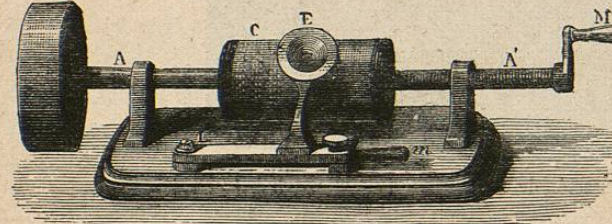


Fig. 288.—Fonógrafo de Edison

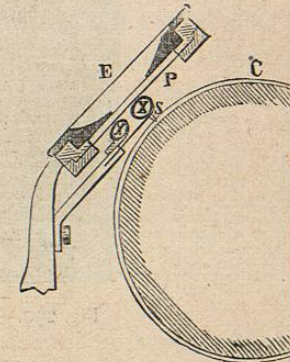


Fig. 289.—Sistema acústico del fonógrafo

llase el estilete ó punzón susodicho, el cual es metálico, muy corto y rígido. Entre él y la lámina hay un taponcito ó cojinete X de caucho que transmite las vibraciones de ésta á aquél, amortiguándolas, pero sin sofocarlas, y otro cojinete, indicado también con la letra X, que tiene por objeto amortiguar las vibraciones del resorte. La presión del punzón sobre la superficie de la hoja de estaño ha de regularse cuidadosamente, y de aquí que todo el aparato acústico descansa en un sistema articulado *om* (fig. 288), cuyo objeto es apartar ó aproximar según convenga la embocadura de aquél.

Dirigiendo la voz con alguna fuerza y clara y distintamente modulada con los labios aplicados á la embocadura E, y poniendo al propio tiempo en movimiento el cilindro, se producen movimientos vibratorios en la lámina, á los cuales corresponden otros del estilete, cuya punta roza la superficie de la hoja de estaño dejando en ella trazos ó huellas más ó menos desiguales á medida que el cilindro avanza.

El límite del movimiento de traslación de éste determina la extensión de la frase que se puede registrar, la cual resulta representada en la hoja de estaño por un punteado sinuoso del que dará una idea la figura 290.

Tal es la marcha para la inscripción de la voz: veamos ahora cómo se logra su reproducción.

El modo de proceder es completamente inverso; se levanta la embocadura E; se restituye el cilindro á su primitivo lugar; se vuelve á bajar la embocadura colocando el estilete con la punta apoyada en el sitio mismo en que estuvo al empezar la inscripción, y se da nuevamente vueltas al cilindro. El estilete, no impresionado ahora por las