

vocales modifica la forma y las dimensiones de la abertura de la glotis. Cuando el sonido llega á la boca, está ya determinado su tono, no sufriendo otras modificaciones sino las que constituyen su timbre ó forman la voz articulada. Los movimientos de la faringe, de la lengua y de los labios sirven para producir estos varios cambios, de los cuales no debemos ocuparnos aquí.

Únicamente diremos que la voz del hombre difiere por su gravedad de las de la mujer y del niño, debiendo este carácter á las mayores dimensiones de la laringe y de la abertura de la glotis. El desarrollo rápido de este órgano en los jóvenes, al llegar á la edad de la pubertad, es la causa de la transformación que se nota entonces en su voz.

SEGUNDA PARTE

ACÚSTICA.—APLICACIÓN DE LAS LEYES DEL SONIDO

CAPÍTULO PRIMERO

LA TELEFONÍA Ó TRANSMISIÓN DEL SONIDO Á DISTANCIAS

I

LAS SEÑALES ACÚSTICAS EN LA NAVEGACIÓN; BOYAS DE CAMPANA —LOS TUBOS ACÚSTICOS.
LA MUJER INVISIBLE

La idea de emplear el sonido, la voz humana, las campanas ú otros instrumentos acústicos para dar avisos ó noticias á larga distancia es muy antigua. El alcance del sonido es sin duda infinitamente menor que el de la luz, y por eso las señales luminosas han deparado un medio de telegrafía utilizado muchísimo tiempo antes que la electricidad llevara, por decirlo así, á la perfección ese arte tan precioso, esa aplicación tan útil.

Pero la luz no se ve ó se ve mal durante los tiempos ó días brumosos, ó en medio de las tempestades, y el sonido es entonces un auxiliar útil que se emplea siempre en la marina, á la entrada de los puertos y en las inmediaciones de los escollos.

“En los tiempos brumosos, dice M. Renard, se indican á los navegantes las entradas de los puertos volteando campanas, con ciertos intervalos de silencio. Algunos faros poseen también estos aparatos. En los Estados Unidos, en donde las nieblas son tan frecuentes y tan espesas, no se ha retrocedido ante los gastos que exigía el dar mayor alcance á los sonidos, y se ha instalado en muchos puntos campanas que pesan hasta 500 kilogramos y más, y en otros, grandes silbatos que se hacen resonar con aire comprimido.” (*Los Faros.*)

En los pasos de los canales, cerca de los arrecifes ó de las rocas, se ven á menudo boyas provistas de campanas que advierten del peligro á los marinos.

Las campanas de las iglesias, en las ciudades y en los campos, son señales telefónicas que anuncian á lo lejos á los fieles las ceremonias del culto, y éstos conocen por el modo de tocarlas la clase de la ceremonia anunciada. En caso de incendio, el toque de alarma lanza á los aires sus sonos siniestros y reclama el auxilio de las gentes. Pero en todos estos casos se emplea el sonido en pleno aire, sin ningún procedimiento especial para propagarlo á larga distancia conservándole su intensidad inicial. Los medios ideados para conducir el sonido á mayores distancias que su alcance ordinario son los que constituyen, propiamente hablando, lo que llamamos hoy *telefonía*.

Uno de estos medios, muy usado para distancias cortas, consiste en hacer de modo

que el sonido se propague por tubos en que la masa limitada de aire que se agita en un extremo transmite, casi sin perder nada de él, toda la fuerza viva de la conmoción sonora. Los *tubos acústicos* ó *speaking tubes*, como dicen los ingleses, son hoy de muy frecuente uso en las casas particulares, en los talleres, fábricas y almacenes, en que los empleados necesitan hablar de un departamento á otro departamento lejano, ó de un piso á otro. También se usan en los buques para transmitir órdenes á los vigías de las gavias y á los maquinistas y fagonistas. Por lo común son tubos cilíndri-

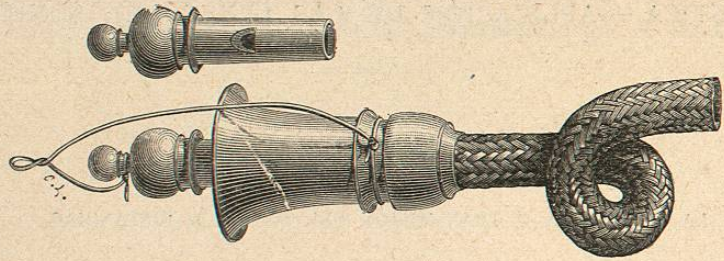


Fig. 333.—Tubo acústico ó *speaking tube*. Boquilla y silbato

cos y flexibles de goma (fig. 333) que terminan en orificios de hueso ó marfil, en forma de boquillas anchas, en las cuales va encajado un silbato. Se sopla primeramente en el tubo para que suene el silbato puesto en la otra extremidad y para que la persona, avisada por el silbido, aplique el oído al orificio del tubo. En seguida responde del mismo modo para indicar que ha oído la señal, y se entabla la conversación á media

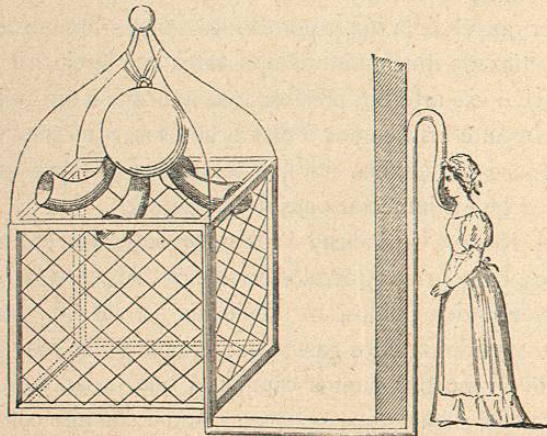


Fig. 334.—La mujer invisible

voz ó en voz baja, cuidando de aplicar alternativamente la boca y el oído á la abertura de la boquilla. Los jugadores de manos no han dejado de utilizar en las ferias y festejos populares la propiedad que tienen los tubos de transmitir la palabra á larga distancia. M. Radau cita en su *Acústica* muchos ejemplos de estas aplicaciones entretenidas, y entre otros el siguiente: “La *mujer invisible*, que causó á principios del siglo tan gran sensación en las principales ciudades del continente, se explica de un modo sencillísimo. El órgano más aparente de esta máquina (fig. 334) era una esfera hueca, con cuatro apéndices en forma de trompeta y suspendida libremente de un aparato de alambre, ó del techo de una habitación, por cuatro cintas de seda. Rodeaba á esta esfera un enrejado sostenido por cuatro postes, uno de los cuales era hueco y comunicaba con el suelo. El tubo acústico que lo atravesaba terminaba en uno de los travesaños horizontales superiores, donde había una hendidura muy pequeña, apenas perceptible á la vista, que hacía frente al orificio de una de las cuatro trompas. La voz parecía salir de la esfera. Es probable que la persona que estaba en la habitación inmediata y daba las contestaciones pudiera ver lo que pasaba en la sala por una abertura practicada en la pared. Hacíanse las preguntas por el orificio de una de las trompas.”

II

LA BOCINA Ó PORTAVOZ

También se transmite la voz humana á larga distancia con un instrumento muy usado en la marina, llamado *portavoz* (fig. 335). Es un tubo de forma cónica, el cual tiene en el extremo más delgado una ancha embocadura que se aplica á los labios sin estor-



Fig. 335.—Bocina ó portavoz

bar su movimiento, y terminado en un pabellón cuya abertura se dirige hacia el punto adonde se quiere transmitir el sonido.

Kírcher hace mención, en su gran obra titulada *Ars magna lucis et umbræ* y en su *Phonurgia*, de una especie de gigantesco portavoz, que describe con el nombre de *cuerno de Alejandro Magno* (fig. 336), y que se usaba en los ejércitos del gran con-

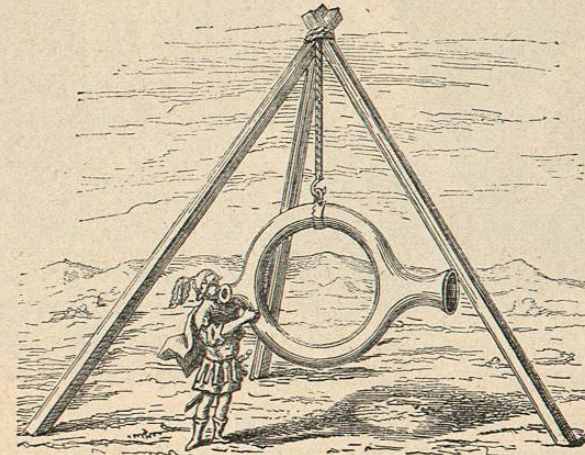


Fig. 336.—Cuerno de Alejandro Magno, según el P. Kírcher

quistador para llamar á los soldados que estaban distantes hasta un centenar de estadios. Lo cierto es que el portavoz reciente es de invención moderna, la cual se debe, según parece, á Samuel Moreland (1670): era una especie de trompeta de vidrio ó de cobre.

Desde entonces se ha dado á estos instrumentos toda clase de formas, elípticas, hiperbólicas, y se ha procurado formular su teoría explicando el aumento del sonido por las reflexiones sucesivas de las ondas sonoras en las paredes interiores del tubo. Según Lambert, la forma cónica ensanchada por la base hace que los rayos reflejados sean paralelos al salir del tubo, de suerte que todos se dirigen hacia el punto al que debe llegar el sonido. En este caso, las superficies que vuelven sus convexidades hacia el eje

serán inútiles. Pero Hassenfratz ha visto por experiencia que de dos bocinas iguales, una provista de pabellón y otra sin él, la primera permite oír el movimiento de un reloj colocado en su interior y á doble distancia que en la segunda. Así pues, la explicación es inexacta ó por lo menos incompleta.

Es probable que el refuerzo de los sonidos de las bocinas dependa sobre todo de la forma de la columna de aire agitada en su interior, y que las paredes mismas y la reflexión en su superficie influyan poco en aquél: y así lo confirma otro experimento



Fig. 337.—Portavoz de la marina mercante

de Hassenfratz, quien cubrió las paredes de una bocina con un paño sin que se debilitase el sonido ni el alcance de éste. La influencia del pabellón no se ha explicado todavía.

Los portavoces usados en la marina tienen hasta 2 metros de largo, con un pabellón cuyo diámetro llega á 30 centímetros. “En Inglaterra, dice M. Radau, se han hecho bocinas de más de 7 metros, con las cuales se pudo hacer llegar las palabras á unos 4 kilómetros de distancia: cuando se trata sólo de hacer oír un grito inarticulado, una buena bocina se oye á 5 ó 6 kilómetros.”

Los contramaestres de los buques de guerra usan silbatos para transmitir las órdenes á los marineros. Más adelante nos ocuparemos de este pequeño instrumento de acústica, de usos tan numerosos y cuyos sonidos pueden ser de extraordinaria intensidad cuando se los produce con chorros de vapor, como en las locomotoras.

III

TRANSMISIÓN DEL SONIDO POR LOS SÓLIDOS. — TELÉFONO MUSICAL. — TELÉFONO DE CORDEL

R. Hooke, sabio físico contemporáneo de Newton, cuyo nombre hemos citado al hablar de la atracción universal, concibió en 1667 la idea de transmitir el sonido á lo lejos valiéndose para ello de la conductibilidad de los sólidos. He aquí un párrafo en el que se describe con toda claridad el experimento que á la sazón hizo, aun cuando no indica cómo preparaba su aparato: “Valiéndome de un hilo tirante, he podido transmitir instantáneamente el sonido á gran distancia y con una velocidad, si no tan rápida como la de la luz, á lo menos muchísimo mayor que la del sonido en el aire. Esta



Fig. 338.—Teléfono de cordel

transmisión puede efectuarse no tan sólo con el hilo estirado en línea recta, sino también cuando forma muchos ángulos.” Tampoco dice Hooke si los sonidos que transmitía así eran los de la voz articulada, ó simples sonidos musicales.

Antes de describir los teléfonos de cordel, cuya invención parece reciente, y que parecen reproducción del experimento de R. Hooke, debemos hacer mención de la notable aplicación que hizo Wheatstone de la conductibilidad de las varillas para el sonido. El experimento del sabio inglés data de 1819; vamos á describirlo tal como ha sido reproducido por Tyndall en una de sus interesantes conferencias dadas en la Sociedad Real.

“En una sala situada en la planta baja, dice, y de la cual nos separan dos pisos, hay un piano. Al través de los dos techos pasa un tubo de hojalata de 6 á 7 centímetros de diámetro, atravesado en la dirección de su eje por una larga varilla de abeto, uno de cuyos extremos sale del pavimento delante de esta mesa. La varilla está forrada de caucho de modo que llena enteramente el tubo de hojalata, y su extremo inferior descansa sobre la caja armónica del piano. En este momento un artista toca una pieza de música, pero no percibimos ningún sonido. Pongo este violín en el extremo de la varilla, y de pronto reproduce la pieza tocada por el músico, pero no con las vibraciones de sus cuerdas, sino con las del piano. Quito el violín y cesa la música; pongo en su lu-

gar una guitarra, y vuelve á empezar. Sustituyo el violín y la guitarra con una mesa de madera, y emite á su vez todos los sonidos del piano. Levantó la varilla lo suficiente para que no esté en comunicación con el piano, y el sonido se extingue. Los sonidos del piano se parecen tanto á los del arpa, que difícilmente se puede creer que la música que se oye no es la de este último instrumento. Cualquier persona poco ilustrada se figuraría que tan maravillosa transmisión es obra de un hechicero.,,

Este sistema de *telefonía musical*, del que se hizo uso en los experimentos de Wheatstone y en los de Tyndall para transmitir sonidos á corta distancia, como de 10 ó 15 metros, podría sin duda atravesar del mismo modo distancias mucho mayores, y en vez de varillas de abeto, que es ciertamente madera muy elástica, se podría emplear alambres de cualquier metal ó hilos de otra clase.

Así se ha hecho recientemente con unos aparatos muy sencillos, llamados *teléfonos de cordel* (fig. 338), que consisten en dos tubos cilíndricos, ó más bien, cilindro-cónicos de cartón, madera ó bronce, uno de cuyos extremos termina en una membrana de papel recio ó de pergamino: cada membrana tiene un agujero por el cual pasa un cordel sujeto con un nudo. Si dos personas cogen respectivamente un tubo y se separan hasta que el cordel esté bien tirante, podrán hablar en voz baja á regular distancia; la que habla cuidará de aplicar su boca al extremo ensanchado del tubo, y la que escucha de acercarse del mismo modo el otro tubo al oído. Yo he hecho la prueba á unos sesenta metros de distancia con un sencillo bramante, y me ha salido muy bien. Parece, sin embargo, que los cordones de seda dan mejor resultado, y que con ellos se puede seguir una conversación en voz baja á 150 metros de distancia.

Se han introducido varios perfeccionamientos en esta especie de juguetes científicos, que los hace muy útiles en muchas circunstancias. En el teléfono que acabamos de describir, el hilo debe estar tirante en línea recta entre los interlocutores, y esta necesidad limita naturalmente la distancia. A fin de obviar este inconveniente, M. A. Breguet ha ideado un sistema de relevos con el cual se pueden hacer ángulos ó recodos, como R. Hooke lo indicó en un principio. M. Breguet emplea á este efecto, como soporte del hilo en cada ángulo, y de cien en cien metros, pequeños cilindros cubiertos de una membrana, como las panderetas. Las vibraciones que parten de un extremo del sistema van transmitiéndose así de membrana en membrana por intermedio del hilo.

M. du Moncel hace mención en su obra *El Teléfono*, además de los perfeccionamientos susodichos, de varios experimentos que demuestran que el *teléfono de cordel* es susceptible de aplicaciones útiles. Por ejemplo, según M. Millar, "tendiendo hilos á través de una casa y adaptándolos á boquillas y trompetillas auriculares colocadas en varias habitaciones, se puede hablar fácilmente con las personas situadas en ellas.,," M. Millar emplea para los discos vibrantes madera, ó metal ó gutapercha en forma de tambor; en el centro de estos discos están sujetos los hilos. Dicho físico ha reconocido que la intensidad de los sonidos aumenta con el diámetro de los hilos. Heaviside y Nixon han hecho experimentos con el teléfono de cordel, de los cuales ha resultado que con un hilo bien tirante se podía oír la palabra á 250 metros de distancia.

En los experimentos de telefonía musical ó parlante que acabamos de reseñar, transmite directamente las vibraciones sonoras el aire ó columnas de aire encerradas en tubos, ó bien varillas ó hilos de materia sólida. En unos y otros casos, las transformaciones del movimiento vibratorio en ondas aéreas, ó recíprocamente, sólo han tenido por agentes las fuerzas moleculares de la elasticidad, tales cuales las hemos visto en todos los fenómenos sonoros estudiados hasta aquí.

Pero no sucede lo propio con los teléfonos ha poco tiempo inventados, como los de Gray, Edison, Bell, etc., y con los numerosos aparatos, *micrófonos, fonógrafos, etc.*, que han salido á luz de algunos años á esta parte, y cuyo modo de funcionar ha parecido maravilloso por varios conceptos. A decir verdad, no se transmite con ellos el sonido á corta y aun á gran distancia; el agente de transmisión es la electricidad, la cual comunica al sonido la propiedad que posee de propagarse á distancias considerables y, por decirlo así, instantáneamente.

Como se comprenderá, hemos de aplazar para cuando tratemos de las aplicaciones de la *Luz* y de la *Electricidad* la descripción completa y detallada de estos nuevos inventos, cuyo principio no se podría comprender perfectamente, si antes no se hubiesen descrito y analizado con cuidado los fenómenos eléctricos y luminosos en que está basada su construcción.

IV

AUDÍFONO

Al describir el órgano del oído dijimos que los sonidos podían seguir un camino que no fuese el conducto auditivo externo para llegar al interno é impresionar los nervios auditivos, bastando para ello que los transmitan las partes sólidas de la cabeza, como los dientes ó el peñasco. Síguese de aquí que los sordos, cuya enfermedad dimana de mala conformación de los órganos exteriores, pueden oír los sonidos por intermedio de conductores sólidos. A nadie se le había ocurrido aprovechar esta conocida propiedad, cuando en 1879 un americano, M. R. G. Rhodes, de Chicago, obtuvo privilegio de invención por un aparato al que dió el nombre de *audifono*. Es una especie de pantalla de caucho endurecido, cuya forma está representada en la figura 339. La persona que se sirve de él lo sostiene por un mango y aplica contra los dientes de la mandíbula superior el extremo de la lámina del audifono. Gracias á este artificio, muchos sordo-mudos han llegado á distinguir los sonidos musicales de algunos instrumentos, y hasta los de la voz articulada, y con mayor motivo han conseguido el mismo resultado favorable las personas afectadas de simple sordera.

Penetrado el ingeniero M. Colladon de las ventajas que tan sencillos aparatos podían tener para la educación oral de los sordo-mudos, ha simplificado el audifono americano y héchole menos costoso.

He aquí en qué términos da cuenta de sus experimentos: "He hecho muchas pruebas con láminas tenues de varias substancias, como metales, maderas, etc., y por fin he descubierto una variedad de cartón, delgado y cilindrado que da los mismos resultados que el caucho endurecido, y que permitiría comprar por medio franco, en lugar de cincuenta, aparatos del mismo poder acústico. Los cartones que me han dado este resultado son los que se conocen en el comercio con el nombre de *cartones de satinar*, muy compactos, homogéneos, elásticos y tenaces; son también muy flexibles, y con tal que su grueso no exceda de un milímetro, basta una leve presión de la mano que sostiene un disco recortado en uno de esos cartones mientras su extremidad convexa se apoya, doblándose, en los dientes de la mandíbula superior, para darle la curvatura conveniente, variable á beneplácito, y sin fatiga para la mano ó los dientes. Así pues, un sencillo disco de cartón, sin mango, sin cordones ni fijador de tensión, es un audifono tan poderoso como los aparatos de caucho del inventor americano. Se puede hacer