

en medio de la columna gaseosa, en cuyo punto la dilatación y la compresión del aire llegan á su máximum. Estas concentraciones y dilataciones sucesivas se transmiten entonces á la cápsula manométrica de en medio, cuya llama se alarga y acorta alternativamente, ejecutando una serie de movimientos que marcan el estado vibratorio del cuerpo sonoro. Si se hace emitir al tubo la octava del sonido fundamental, habrá un vientre enfrente de la cápsula de en medio y un nodo en cada una de las otras dos, viéndose las llamas extremas sumamente agitadas, al paso que la central permanecerá inmóvil. Fácilmente se explican estos fenómenos.

En efecto, sabemos que la columna gaseosa vibrante en los tubos sonoros se divide en partes separadas por nodos, y cuyos puntos medios son vientres de vibración. El aire está en reposo en cada nodo, pero su densidad es alternativamente máxima y mínima. Por el contrario, cada vientre es el punto en que la velocidad de conmoción es la mayor posible, al paso que la densidad del aire subsiste invariable en él. Pues bien, como las variaciones de densidad son las que determinan las de presión y éstas se trans-

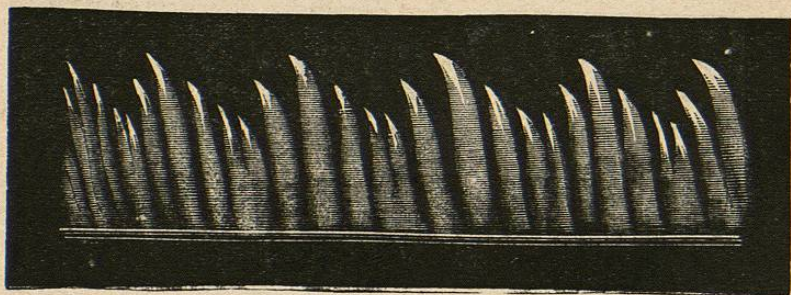


Fig. 322.—Llamas manométricas de dos tubos en tercera

miten á las llamas por las membranas de las cápsulas, resulta que las llamas manométricas están muy agitadas cuando se hallan enfrente de los nodos, mientras que están en reposo si corresponden á un vientre de la columna vibrante. Con el método de Kœnig se puede comprobar la existencia de estos tres estados; dando á las llamas una dimensión escasa, las apaga la agitación que experimentan enfrente de los nodos, al paso que continúan encendidas enfrente de los vientres.

Para hacer más perceptibles las prolongaciones y acortamientos de la llama, M. Kœnig se vale de un medio de proyección semejante al adoptado por M. Lissajous para el método óptico. Coloca un espejo prismático de cuatro caras junto al mechero del que brota la llama, y le imprime un movimiento de rotación con una rueda dentada de ángulo y un manubrio (fig. 319). Tan luego como el tubo resuena, el espejo giratorio refleja una sucesión de llamas separadas por intervalos oscuros, ó una banda luminosa de bordes dentados. Poniendo una lente convergente entre el mechero y el espejo, se proyecta una imagen clara y brillante en una pantalla, en la cual se pueden estudiar entonces todas las particularidades del fenómeno.

Así pues, en los dos experimentos que hemos descrito más arriba y en los cuales el tubo emite sucesivamente el sonido fundamental y su octava, el cambio de tono de que se trata se manifiesta inmediatamente en las llamas manométricas, según se representa en la figura 320, en que la serie superior marca el efecto producido por las vibraciones del sonido fundamental, y la inferior procede del sonido que es la octava aguda de éste. El número de las llamas es doble en el segundo caso.

El mismo resultado se obtendría adaptando al fuelle dos tubos diferentes que resonaran el uno á la octava del otro; cada uno de ellos está provisto de una cápsula manométrica y las llamas reflejadas en el mismo espejo giratorio dan las dos series que representamos en la figura 320.

M. Kœnig se vale también de otro método para comparar los tonos de los sonidos de tubos que resuenan á distintos intervalos. Hace pasar de una cápsula á otra el gas cuya combustión produce las llamas, pero no enciende más que un mechero. Haciendo entonces resonar simultáneamente los dos tubos, la misma llama resulta agitada por los dos sistemas de ondas sonoras, y se ve cómo se suceden en la pantalla llamas alternativamente grandes y pequeñas (figs. 321 y 322), cuyo número depende del intervalo musical de los sonidos.

“Esta disposición, dice M. Kœnig, es preferible á la primera, siempre que la relación entre los dos tubos no sea enteramente simple. Por ejemplo, para los tubos *do* y *mi* (tercera) es ya difícil la observación de cuatro imágenes que corresponden á cinco; pero la sucesión de imágenes que se prolongan y se acortan por grupos de cinco, y que resultan en el espejo giratorio merced á la segunda disposición (fig. 322), no es de apariencia muy complicada.”

V

TIMBRE DE LOS SONIDOS MUSICALES

Hemos visto que una de las cualidades de todo sonido musical consiste en poderse distinguir los de un mismo tono y de igual intensidad. El *la* de un violín no tiene enteramente el mismo carácter que el *la* de una flauta ó de un piano, ó que el *la* emitido por la voz humana; más aún, en el mismo instrumento no resuena un sonido del propio modo si cambia el modo de producirlo; así, por ejemplo, el *la* dado por la cuerda de un violín que vibre en toda su longitud no es idéntico al *la* que se obtiene pisando con el cuarto dedo la cuerda del *re*. Por último, las voces humanas se distinguen entre sí, como cualquiera puede probarlo, aun cuando emitan sonidos de igual tono ó intensidad.

A esta cualidad particular de los sonidos es á lo que se da el nombre de *timbre*.

Largo tiempo se ha tenido ideas vagas acerca de la causa de esta modificación. He aquí lo que decía de ella Rousseau, en 1775, en la *Enciclopedia* (artículo SONIDO):

“Por lo que hace á la diferencia que se nota también entre los sonidos por el concepto del timbre, es evidente que no depende ni del grado de gravedad ni del de fuerza. Por más que un oboe se ponga exactamente al unísono de una flauta, aun cuando suavice el sonido en igual grado, el de la flauta tendrá siempre algo de blando y dulce y el del oboe algo de seco y agrio, que hará que jamás se les pueda confundir. ¿Qué diremos de los diferentes timbres de voz de la misma fuerza y de igual extensión? Cualquiera puede juzgar de su prodigiosa variedad. Sin embargo, nadie, que yo sepa, ha examinado todavía esa parte que, lo mismo que las otras, tal vez tenga también sus dificultades; porque la cualidad del timbre no puede depender ni del número de vibraciones que forman el grado del grave al agudo, ni de la extensión ó fuerza de estas mismas vibraciones que forman el grado del fuerte al suave. Preciso, pues, será buscar en los cuerpos sonoros una tercera modificación diferente de ambas para explicar esta última propiedad, lo cual no me parece cosa fácil.”

De una comunicación dirigida en 1875 á la Academia de Ciencias resulta que Monge

había concebido, ya que no la teoría del timbre como los experimentos del físico alemán Helmholtz la han establecido recientemente, á lo menos el principio en que está basada. He aquí el párrafo en que se menciona la opinión del ilustre geómetra francés: "..... He oído decir á M. Monge, de la Academia de Ciencias, que lo que originaba este ó el otro timbre debía ser únicamente tal ó cual orden y tal ó cual número de vibraciones de las alicuotas de la cuerda que produce un sonido de dicho timbre; y añadía que, si se pudieran suprimir las vibraciones de las alicuotas, todas las cuerdas sonoras tendrían sin duda alguna el mismo timbre, cualquiera que fuese la materia de que estuviesen formadas." (Extracto de un opúsculo publicado en 1793.)

Biot reprodujo en 1817 en otros términos la hipótesis de Monge, diciendo en su *Prontuario elemental de física experimental*:

"Todos los cuerpos vibrantes emiten á la vez una serie infinita de sonidos de intensidad gradualmente decreciente. Este fenómeno es parecido al de los sonidos armónicos de las cuerdas, pero la ley de la serie de los armónicos difiere según las distintas formas de los cuerpos. ¿No será esta diferencia la que origina el carácter particular del sonido producido por cada forma de cuerpo, lo que se llama el *timbre*, y que hace, por ejemplo, que el sonido de una cuerda y el de un vaso no nos produzcan la misma sensación? ¿No será tal vez la degradación de intensidad de los armónicos de cada serie la que hace que nos parezcan agradables ciertos acordes que no soportaríamos si los produjesen sonidos iguales, y no procederá el timbre particular de cada substancia, por ejemplo de la madera ó del metal, del exceso de intensidad dada á tal ó cual armónico?" (1).

VI

LOS SONIDOS ARMÓNICOS Y EL TIMBRE

Varias veces hemos tenido ocasión de hablar de los sonidos armónicos y de definirlos. La nueva teoría del timbre exige que entremos en algunos detalles por este concepto.

Cuando se escucha con atención el sonido producido por una cuerda vibrante, reconócese en breve que este sonido no es simple, pues aparte del fundamental, cuyo tono depende de la longitud, grueso y tensión de la cuerda, el oído discierne con bastante facilidad cierto número de entonaciones más agudas, siquiera notablemente menos intensas que el sonido fundamental. Supongamos que la cuerda agitada sea la más

(1) La idea de que la causa del timbre reside en la concomitancia de sonidos débiles que acompañan al principal, idea perfectamente expresada por Monge y desarrollada luego por Biot, ha persistido hasta los experimentos de Helmholtz. Así vemos que M. Daguin se expresa del modo siguiente en su *Tratado de física* publicado en 1855:

"En los instrumentos de música, el timbre suele tener por causa los sonidos débiles que acompañan al que se quiere producir solo. Ora proceden estos sonidos concomitantes de las partes vibrantes mismas, que emiten así algunos sonidos á la vez; ora el cuerpo vibrante transmite estas vibraciones á las demás partes del instrumento..... También puede ser debido el timbre al modo como varía la velocidad de las partes del cuerpo vibrante mientras recorre la amplitud de cada vibración. Las cuerdas que representan las ondas sonoras pueden ser de forma variable, y la onda dilatante diferente de la condensante, y aun puede suceder que haya interrupciones entre las ondas sucesivas."

Así han ido precisándose poco á poco las ideas de los físicos sobre la causa hipotética del timbre; pero faltaba demostrar su realidad con hechos, con la observación experimental, y este es el mérito que ha cabido á M. Helmholtz.

grave de un violoncelo; dará el sonido que los físicos acostumbran llamar *do*. Pero á la vez que resuena se oyen distintamente dos notas, la más grave de las cuales es el *sol*, es decir, la octava de la quinta ó la dozava del sonido fundamental; la otra es el *mi*, doble octava de la tercia mayor ó décimaséptima. La octava y la doble octava *do*₂ y *do*₃ se distinguen también, aunque no tan fácilmente, sin duda porque el carácter musical de estos sonidos se parece más al del fundamental, y porque se confunden con él.

Hase dado el nombre de *sonidos armónicos*, ó simplemente armónicos, á esos sonidos más débiles que acompañan á la mayor parte de los musicales, y cuyo primer estudio, hecho por el físico francés Sauveur, data del año 1700. Esta denominación procede sin duda de que los primeros armónicos observados, y en especial los que acabamos de citar, forman entre sí y con el sonido fundamental acordes consonantes ó consonancias. Pero en breve se vió que no eran los únicos y que la serie de los armónicos es mucho más extensa.

Antes de indicarlos, comparemos entre sí los números de vibraciones del sonido fundamental y de sus armónicos. Representando el más grave por 1, la quinta es $\frac{3}{2}$, y por consiguiente la octava de la quinta es 3; la tercia es $\frac{5}{4}$, y su doble octava 5; por último, la octava y la doble octava del sonido fundamental estarán representadas por los números 2 y 4 (1). De suerte que, si se clasifican por órdenes de tono, del grave al agudo, todos los sonidos en cuestión, resulta la serie: 1, 2, 3, 4, 5.

Las cuerdas vibrantes no son las únicas que van acompañadas de armónicos; los sonidos de los tubos sonoros, los de la voz humana son ricos en ellos, todos los cuales no se distinguen con la misma facilidad, aun por los oídos más ejercitados; para reconocerlos se requieren medios particulares de análisis, de los que luego hablaremos. Haremos notar solamente que entre los sonidos parciales que forman los compuestos hay algunos que no son armónicos. Las varillas y las placas metálicas, las campanas de metal ó de vidrio y las membranas emiten, cuando se las hace resonar, sonidos parciales que no entran en la serie de los armónicos y que por otra parte impresionan desagradablemente el oído, bajo el punto de vista musical.

¿Cuál es, pues, el carácter físico propio de los armónicos? ¿En qué se distinguen de los demás sonidos parciales que puede producir cualquier cuerpo sonoro? La definición no es otra sino la generalización del resultado más arriba obtenido: un sonido fundamental tiene por armónicos todos los sonidos cuyos números de vibraciones son múltiplos del número de las vibraciones totales que miden su tono; y por tanto, están representados por la serie de los números enteros 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11, etc.; bien entendido que esta serie está limitada por la perceptibilidad de los sonidos. Pero, aun así y todo, es mucho más extensa de lo que en un principio se creía.

Merced á un experimento tan sencillo como ingenioso, discurrido por Sauveur, se puede analizar los sonidos armónicos de una cuerda vibrante, aislándolos. Dicho experimento está basado en la ley que enlaza los números de vibraciones con las longitudes de las cuerdas, de donde resulta que los armónicos se obtienen dividiendo la cuerda dada en números enteros de partes iguales. Si cuando se pone la cuerda entera en vibración produce los armónicos además del sonido fundamental, es que en realidad se divide en partes vibrantes; es, como dice Sauveur, que "cada mitad, cada tercio, cada

(1) Esto es cierto con respecto á los intervalos de la gama de los físicos. La tercia de la gama pitagórica es $\frac{81}{64}$; su doble octava $\frac{81}{16}$ ó $5 \frac{1}{16}$. Así pues, la gama de los físicos parece que debe ser preferida por este concepto.

cuarto de cuerda tiene sus vibraciones aparte, al paso que la vibración se hace con la cuerda entera.,,

Para reconocer la existencia de estas subdivisiones de la cuerda, basta apoyar levemente el dedo en el punto que es susceptible de dar el sonido armónico que se quiere obtener aisladamente: en la mitad ó en el cuarto de la cuerda, si se quiere obtener la primera ó la segunda octava, y en el tercio ó en el quinto, si la dozava ó la décimaséptima. Haciendo entonces vibrar la porción más pequeña de la cuerda, se oye la nota deseada; las dos partes vibran al mismo tiempo, pero la mayor se subdivide, como fácilmente se prueba, colocando pequeños caballetes de papel en los nodos y en los vientres; estos últimos caen, quedando los otros solos. Según se recordará, este es un experimento descrito ya en otro lugar.

Hemos dicho que era bastante difícil que el oído pudiese analizar los sonidos armónicos más allá de la dozava y de la décimaséptima. Véanse algunos detalles interesantes dados sobre este asunto por Helmholtz para facilitar á los observadores novicios los medios de distinguir estos sonidos. "Haré observar con este motivo, dice, que la educación musical del oído no trae consigo más facilidad, más seguridad en la percepción de los sonidos parciales. Aquí se trata más bien de cierta facultad de abstracción del espíritu, de un predominio especial sobre la atención de cada uno, más bien que de hábitos musicales. Sin embargo, el músico experto tiene aquí una ventaja esencial; la de representarse fácilmente los sonidos que procura oír, al paso que el profano ha de hacerlos resonar de continuo para tenerlos siempre presentes en la memoria. Hay que advertir desde luego que por lo común se oyen los sonidos parciales impares, es decir, las quintas, las tercias, las séptimas del sonido fundamental, más fácilmente que los sonidos parciales pares, que son las octavas del sonido fundamental ú otros armónicos, así como es más fácil distinguir en un acorde las quintas y las tercias que las octavas. El segundo sonido parcial, el cuarto y el octavo son octavas del sonido fundamental; la sexta es la octava de la tercera, de la duodécima, necesitándose cierta práctica para distinguirlos. Los sonidos parciales impares más fáciles de distinguir son generalmente, por orden de intensidad, la tercia, es decir, la dozava del sonido fundamental ó la quinta de la octava superior; luego la quinta ó la tercia, y por último, la séptima ó séptima menor, mucho más débil ya, de la segunda octava.

„Al principio, para observar los armónicos, conviene hacer resonar suavemente las notas que se desea oír antes que el sonido que se va á analizar, conservándolas en lo posible un timbre idéntico al del conjunto. El piano y el armonio son muy á propósito para este género de indagaciones, porque ambos instrumentos dan armónicos de gran intensidad.,,

El físico referido se ha ocupado mucho del análisis de los sonidos y en especial de los armónicos, habiendo basado en este análisis la teoría del timbre, que pronto resumiremos en sus puntos esenciales. Acerca de los armónicos de la voz dice lo siguiente: "Es más fácil percibir los armónicos en el sonido de los instrumentos de cuerda, del armonio ó de los registros agudos del órgano que en el de los instrumentos de viento ó en el de la voz humana, pues éstos no emiten tan fácilmente y de antemano, con leve intensidad, el armónico de que se trata conservándole al propio tiempo el mismo timbre. Esto no obstante, con algún ejercicio y por medio del sonido de un piano se llega en breve á guiar el oído hacia el armónico que se necesita oír. Más difíciles relativamente de aislar son los sonidos parciales de la voz humana; sin embargo, Rameau pudo distinguir los armónicos de la voz, y esto sin ningún auxilio artificial. Se puede

hacer el experimento del modo siguiente: hágase que una voz de bajo sostenga la nota mi_1 en la vocal O, y en seguida tóquese suavemente el si_3 del piano, tercer sonido parcial del mi_1 , dejando que se extinga fijando la atención en él. En la apariencia, el si_3 del piano se prolongará en lugar de extinguirse, aunque se deje la tecla, porque el oído pasa insensiblemente del sonido del piano al armónico correspondiente de la voz, tomándolo por la prolongación de aquél. Pero una vez soltada la tecla y después de caer el apagador sobre la cuerda, es imposible que ésta continúe resonando. Si se quiere hacer la prueba con el quinto sonido parcial del mi_1 , es decir, con el sol_3 , es preferible que el cantante emita la vocal A.,,

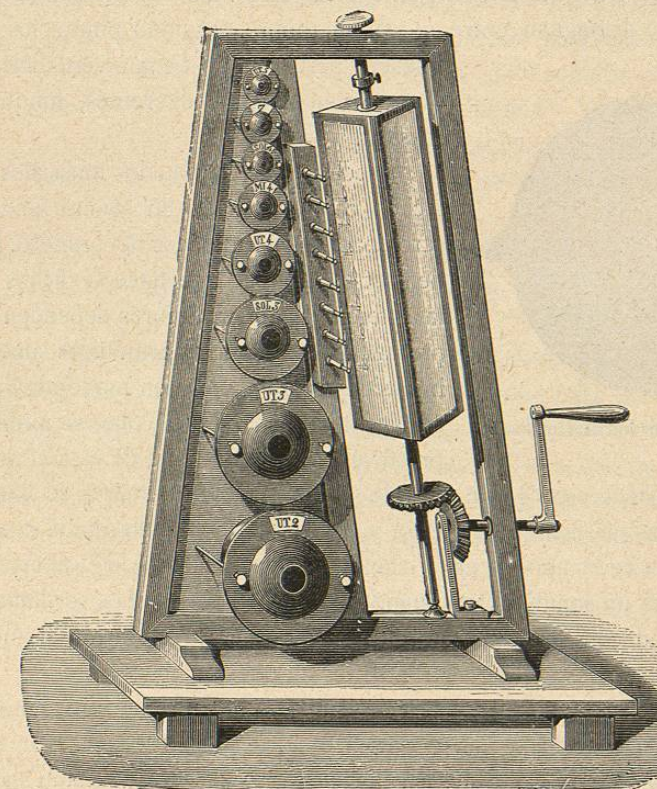


Fig. 323.-Aparato de M. Koenig para el análisis de los timbres de los sonidos musicales

Por lo demás, el análisis de los armónicos de los sonidos se puede hacer más fácilmente con los globos de vidrio llamados *resonadores*, de que muy luego trataremos. Con un crecido número de estos aparatos, cada uno de los cuales está construido á propósito para reforzar un sonido de determinado tono, se reconoce la presencia de sonidos parciales que acompañan á la nota fundamental de un cuerpo sonoro en vibración, y se puede ver si pertenecen ó no á la serie de los sonidos armónicos. De este modo se notan sonidos sobrado tenues para que los perciba el oído más ejercitado ó más atento; y haciendo con cuidado repetidas pruebas de esta clase, se adquiere gran práctica y se acaba por advertir la existencia de dichos armónicos sin necesidad de aparato alguno.

Vamos á ver ahora cómo, teniendo en consideración los armónicos de Helmholtz, se ha llegado á la teoría del timbre. Hase formulado desde luego esta pregunta: ¿Todos los cuerpos sonoros dan armónicos? No. También hay sonidos que son producto de un solo modo de vibración, por lo cual se llaman *sonidos simples*. Vibrando un diapasón

en el orificio de un tubo sonoro se produce, por ejemplo, un sonido simple, sin mezcla; los de la flauta, el de la vocal *u* de la voz humana son sonidos compuestos, pero que, por ser sus armónicos de escasa intensidad, se parecen mucho á los simples. Helmholtz ha observado, en primer lugar, que estos últimos sonidos difieren entre sí en intensidad ó tono, pero que no presentan diferencia apreciable de timbre. En cuanto á los sonidos compuestos de un sonido fundamental y de otros parciales, pero no armónicos, su timbre procede, en concepto de dicho físico, del grado de persistencia y regularidad de los sonidos parciales; pero son poco agradables al oído y de poco uso en música; las placas metálicas, las campanas de vidrio ó metal y las membranas dan sonidos de este género. Tenemos, pues, un primer punto establecido: los sonidos simples, privados de armónicos, no se distinguen entre sí por su timbre. Segundo punto: los sonidos compuestos, pero que no tienen verdaderos armónicos, poseen timbres muy diferentes, aunque sin carácter musical.

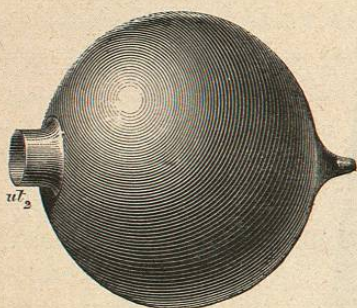


Fig. 324.—Resonador de Helmholtz

Quedan, pues, los sonidos musicales propiamente dichos, compuestos de un sonido fundamental y de otros parciales, armónicos del primero. Helmholtz ha demostrado, por lo que hace á dichos sonidos, que las diferencias de sus timbres dependen á la vez de la presencia de los sonidos armónicos superiores y de su intensidad relativa, pero en modo alguno de sus diferencias de fases. He aquí cómo se puede comprobar prácticamente la exactitud de esta teoría del timbre:

Para ello se hace uso de una serie de globos huecos de cobre, de varios tamaños, con dos aberturas de distinto diámetro, y contruídos de modo que la masa de aire interior resuene en cada uno de ellos cuando se pone delante de la abertura mayor un cuerpo que emita un sonido determinado (fig. 324). Estos globos se llaman *resonadores*. Su propiedad consiste, pues, en reforzar, al poner en vibración el aire que contienen, los mismos sonidos á cuyo acorde se los ha puesto.

Esto sentado, M. Koenig ha contruído un aparato formado de ocho resonadores acordados á la serie de los sonidos armónicos 1, 2, 3, 4, 5, 6, etc., por ejemplo á las notas do_2 , do_3 , sol_3 , do_4 , mi_4 , sol_4 , etc. En la figura 323 se ve que están fijados á un soporte uno sobre otro. Cada cual comunica por un tubo de goma que parte de la abertura menor con una cápsula manométrica; los mecheros de gas de estas cápsulas están alineados paralelamente á un espejo giratorio, pudiéndose ver fácilmente en la superficie de este espejo, por el estado de reposo ó agitación de las llamas, cuáles son los resonadores que entran en vibración. Cuando se hace vibrar un cuerpo sonoro, un diapasón por ejemplo, y se le pasa por delante de las aberturas de los resonadores, se refuerza el sonido tan luego como pasa por delante del que emite el sonido del mismo tono, y la llama de este resonador aparecerá agitada en el espejo. Si se produce un sonido compuesto para estudiar sus armónicos y la intensidad relativa de éstos, se pasará el cuerpo sonoro por delante de los orificios de los resonadores, y se verán ciertas llamas agitadas al paso que otras continuarán en reposo. En virtud de su mayor ó menor agitación se podrá juzgar de la intensidad comparativa de los diferentes armónicos.

De este modo se podrá comprobar el hecho de que cualquier variación en el timbre de un sonido de determinado tono resulta de la diferencia de los armónicos que lo componen y del predominio de alguno de estos sonidos secundarios.

Helmholtz ha aplicado este método al estudio de los sonidos emitidos por la voz humana; valiéndose de los resonadores ha demostrado la existencia de los armónicos, de los cuales los seis ú ocho primeros son claramente perceptibles, si bien presentan variaciones de intensidad que dependen de las diversas posiciones de la boca, es decir, de las formas que toma la cavidad bucal según la vocal que pronuncia. En una palabra, "el tono de los sonidos bucales de más fuerte resonancia depende solamente de la vocal para cuya emisión se prepara la boca, y cambia de un modo bastante notable, aun para las leves modificaciones del timbre de la vocal, como se observa en los diferentes dialectos de una misma lengua. En cambio, los sonidos propios de la cavidad de la boca son casi independientes de la edad y del sexo." Cada vocal tiene, pues, un timbre especial que resulta del predominio de un sonido armónico particular y de tono absoluto, de suerte que, por este concepto, la voz humana emite sonidos que se distinguen esencialmente de los emitidos por los instrumentos de música.

Así pues, la vocal A tiene por sonido específico ó característico el *si bemol*. Cuando pronunciamos el sonido A, á cualquier tono, el sonido predominante ó de más fuerte resonancia de la cavidad bucal es el *si bemol*; para la vocal O es el *si b*. Las vocales E I presentan dos sonidos de resonancia, uno agudo y otro grave.

Por lo demás, véase un método muy sencillo para comprobar el timbre de las vocales.

El observador deberá coger un diapasón que dé el si bemol, poniéndosele delante de la boca mientras vibra; en seguida pronunciará en voz tan baja que ni él mismo se oiga las dos vocales A O muchas veces y sucesivamente repetidas, y notará que el sonido del diapasón se refuerza siempre que la boca hace el movimiento propio de la A, al paso que el de la O no lo altera. Ocurriría el mismo fenómeno con dos vocales cualesquiera si se hiciera uso de un diapasón que estuviese al unísono con el armónico predominante de una de ellas.

Tal es la serie de fenómenos, no explicados hasta el presente, cuya producción está relacionada con las leyes conocidas de las vibraciones de los cuerpos sonoros.

VII

INTERFERENCIAS SONORAS

Supongamos que dos conmociones sonoras, emanadas de dos focos diferentes, se propagan en el mismo medio elástico, por ejemplo en el aire. Las vibraciones ú ondas sonoras que resultan de aquéllas coexistirán generalmente en el medio; es decir, que en cada punto y á cada instante habrá superposición de los leves movimientos que constituyen estas vibraciones. Se efectuarán las condensaciones y dilataciones sucesivas, ora agregándose, ora segregándose con arreglo á las leyes de la mecánica. Si los dos sonidos llegan á tener la misma longitud de ondulación ó el mismo tono y también igual intensidad, podrá suceder que se destruyan; para lo cual bastará que las dos ondas tengan fases opuestas, que la semi onda condensante del uno coincida exactamente con la dilatante del otro. Al destruirse los dos movimientos, el medio elástico quedará en reposo en todos los puntos en que ocurra dicha destrucción, y para un observador situado precisamente en este punto resultará el silencio. Tenemos, pues, establecida teóricamente esta paradoja de la acústica: *un sonido agregado á otro puede dar por resultado el silencio.*