

1883 X 14 - un 204

# ELEMENTOS

DE

## ACUSTICA Y TEORIA FISICA DE LA MUSICA

POR

D. JOSÉ ALCOLEA Y JEGERA.

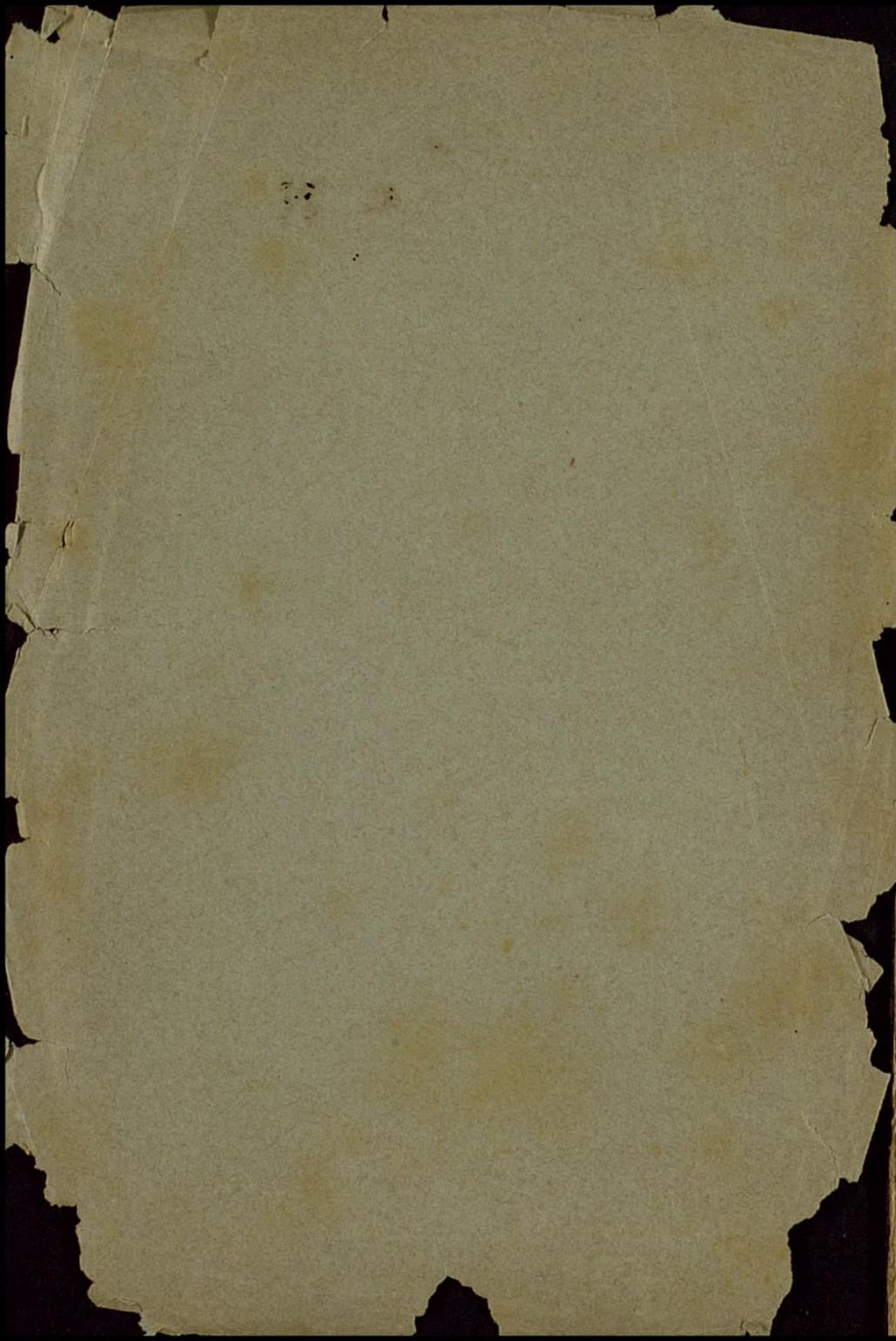


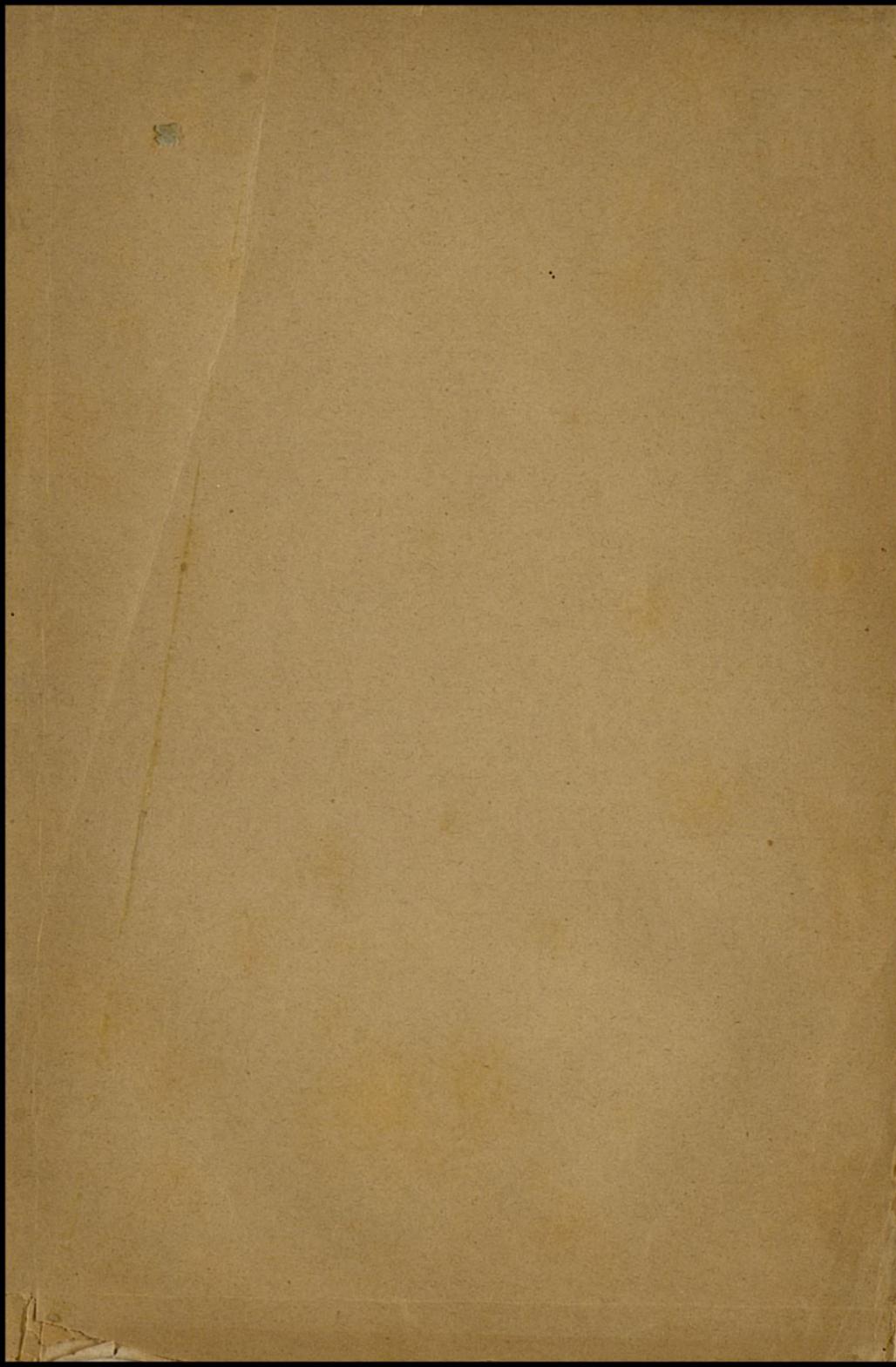
—  
—  
Precio 4 Ptas.  
—  
—

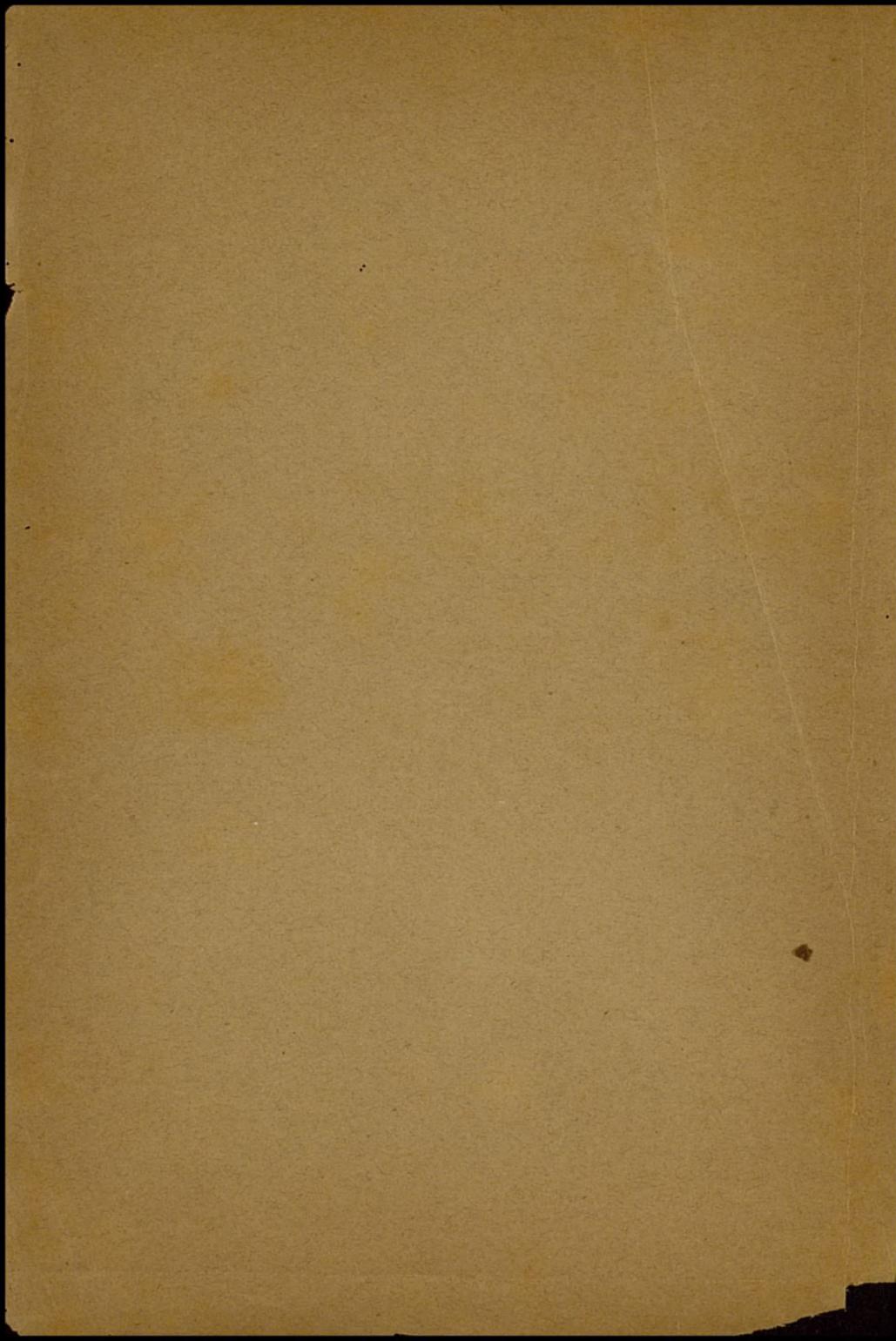
CADIZ.

—  
—  
IMPRESIONTA DE LA REVISTA MEDICA,  
DE D. FEDERICO JOLY.

1883.







ELEMENTOS DE ACUSTICA

y

TEORIA FISICA DE LA MUSICA.

---

OBRAS DIDACTICAS DEL MISMO AUTOR.

---

- MEMORIA sobre las densidades de los cuerpos.—1866.
- RESÚMEN de Física.—1868.
- COMPENDIO de Física.—1873. [2.<sup>a</sup> edición.]
- LECCIONES de Química inorgánica.—1873.  
Obra declarada de mérito por el Real Consejo de Instruccion pública.
- PROGRAMA de Física y Química.—1877. [6.<sup>a</sup> edición.]  
Aprobado por la Direccion de Instruccion pública, de conformidad con el Real Consejo.
- REVISTA Científica popular.—1883.
- PROGRAMA de Acústica y Teoría física de la música.—1883.

lit-74 - no 207.

# ELEMENTOS

DE

## ACÚSTICA Y TEORÍA FÍSICA DE LA MÚSICA

PRECEDIDOS

DE LAS INDISPENSABLES NOCIONES DE FÍSICA,  
PARA USO DE LOS ALUMNOS DE LAS ESCUELAS Y ACADEMIAS  
DEL ARTE MUSICAL,

POR

D. JOSÉ ALCOLEA,

Profesor honorífico de dicha asignatura en la Real Academia Filarmónica de Cadiz,  
Individuo de número de la Academia provincial de Bellas Artes y Profesor de Anatomía  
pictórica de la Escuela de primera clase dependiente de ella, Catedrático de Física y  
Química del Instituto provincial, Vice-Presidente y fundador de la Real Academia de  
Ciencias y Letras de la misma capital, Secretario de la comision de monumentos  
históricos y artísticos, etc.



*Jose Alcolea*

CADIZ.

—  
IMPRENTA DE LA REVISTA MÉDICA, DE D. FEDERICO JOLY,  
CEBALLOS (ANTES BOMBA), NÚMERO I.  
1883.

El autor y propietario se  
reserva todos los derechos que  
las leyes le conceden.

A LA

ESCUELA NACIONAL ESPAÑOLA

DE MÚSICA Y DECLAMACION,

HONOR DEL ARTE PATRIO POR SU DISTINGUIDO PROFESORADO,

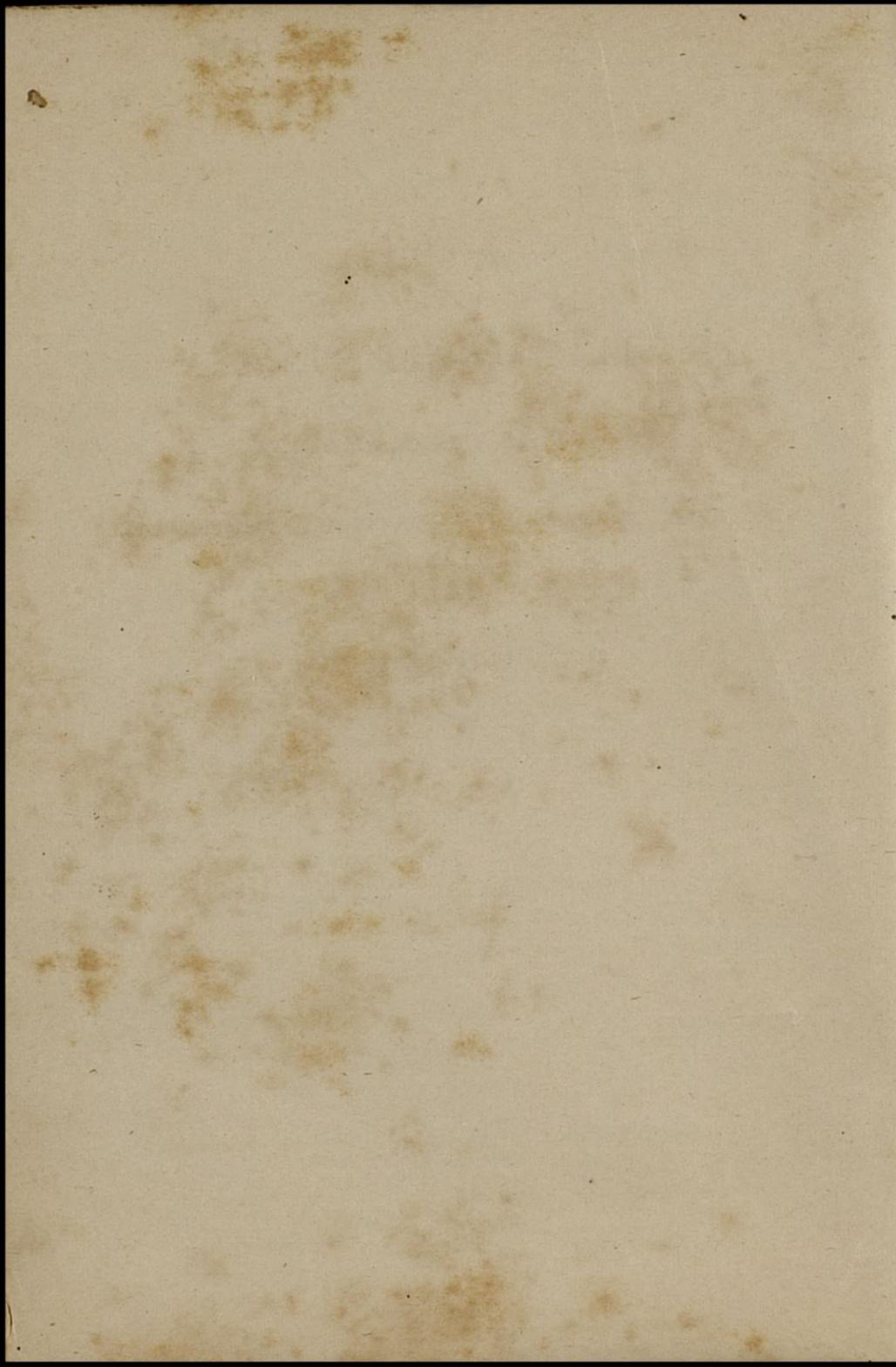
DEDICA

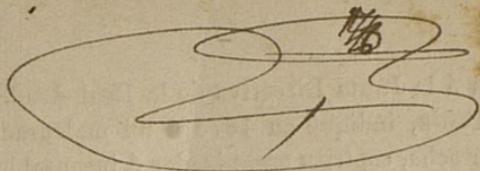
ESTE INSIGNIFICANTE TRABAJO,

JOSÉ ALCOLEA.



MAYO DE 1883.





## PRÓLOGO.

---

Los sorprendentes adelantos de las Ciencias físicas han ensanchado de tal modo sus límites y extendido tanto su influencia sobre los demás ramos del saber humano, que ni las Bellas Artes enemigas en cierto modo del frío cálculo del raciocinio, han podido sustraerse de su invasora ingerencia.

La Música, sin abandonar las regiones de la inspiracion y del sentimiento, no puede prescindir ya de la valiosa cooperacion con que le brinda la ciencia del sonido.

Hace cincuenta años apenas tenia la Acústica derecho á figurar en los tratados de Física; hoy merced á los trabajos de Savart, Marloye, Moigno, Chladni, Kœnig, Helmholtz y especialmente de Tyndall, constituye una de sus partes principales llena de atractivo é interés, cuyo horizonte se agranda rápidamente, y quizá no está lejos el dia en que, como alguna otra de sus hermanas, pueda aspirar á emanciparse para formar una rama independiente entre las Ciencias experimentales.

A su vez la Música va participando del espíritu de reforma moderno: el carácter acaso exageradamente pensador de la culta Alemania, en lo que al arte musical se refiere, ha creado una nueva escuela que tiende á sobreponer el artificio intelectual á los arranques espontáneos del genio y á las naturales manifestaciones del sentimiento, como queriendo amoldar la imaginacion á las exigencias del raciocinio.

Un artista ilustrado no debe ignorar hoy las íntimas relaciones que ligan á la Ciencia con el arte que profesa, la filosofía natural de éste por decirlo así, no considerada como un objeto de mero adorno y curiosidad, sino como el complemento necesario de sus conocimientos artísticos y útil apoyo hasta para las creaciones del genio.

Guiado por esta conviccion, y conociendo los levantados pro-

pósitos que animaban á la Junta Directiva de la Real Academia Filarmónica de Cádiz, indiqué en 1875 á mi malogrado amigo D. Antonio Fontecha, espíritu organizador é incansable, entonces Secretario de aquella, la conveniencia de que se creara una clase de Acústica y Teoría física de la música, ofreciéndome á desempeñarla gratuitamente.

Aceptada mi proposicion, se inauguró el curso inmediato esta asignatura al mismo tiempo que las de Historia universal y Teoría del Arte que se establecieron por la iniciativa del distinguido Catedrático de la Universidad central D. Francisco Giner de los Rios.

El primer año asistieron á mi clase más de ochenta alumnos de ambos sexos, número que si bien disminuyó en los sucesivos por la reforma introducida en la matrícula de los estudios de ampliacion, era sin embargo bastante crecido para hacerme tocar los inconvenientes de la falta de un libro de texto adecuado al objeto de la asignatura y á las circunstancias de los que la cursaban. Bajo este doble concepto se necesitaba una obra especial; mas como esta enseñanza era nueva en España, no existía publicacion alguna que llenara el objeto, ni siquiera pudiese servirme de norma para redactar una en la forma y con la extension que yo la concebía.

Inspirado solo por el deseo de facilitar el estudio á mis discípulos y alentado con la esperanza de que si el pensamiento es bueno, como creo, no han de faltar autores que traten el asunto con el debido acierto, me he atrevido á abrir el camino publicando, como por vía de ensayo, este desaliñado compendio sobre cuyo plan voy á dar una lijera explicacion.

Careciendo la casi totalidad de los alumnos matriculados en esta asignatura de los conocimientos generales indispensables para entender bien la Acústica, preceden á ésta unas breves nociones de Aritmética y Geometría, incoherentes por necesidad, pues solo comprenden lo estrictamente preciso para la inteligencia de las leyes físicas y sus aplicaciones.

Por igual motivo y con mayor razon he debido dedicar la primera parte de la obra á la exposicion de las generalidades de

Física para dar una idea de los conceptos fundamentales de esta ciencia, de las propiedades de la materia, así como de las condiciones particulares y modificaciones dinámicas de los cuerpos en lo que puede relacionarse con el estudio del sonido.

En la Acústica he omitido todas las fórmulas y cálculos que requieren conocimientos superiores á los comprendidos en la instruccion primaria.

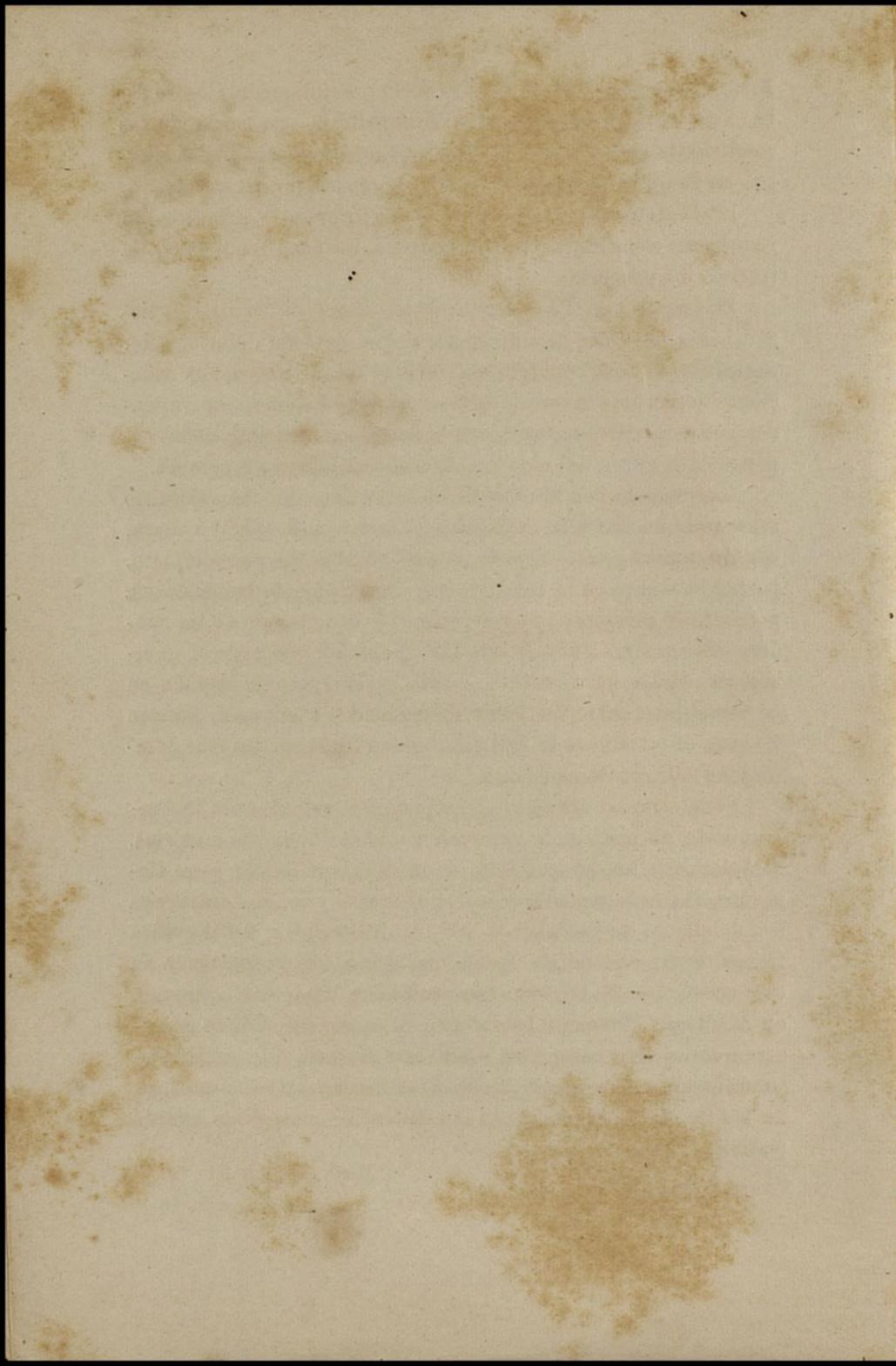
En cuanto á la Teoría física de la música, cuyos límites tienen hasta hoy más de convencional que de bien determinado, comprende lo más concreto del estudio del sonido en sus relaciones con el arte musical, salvas algunas adiciones, concluyendo, como apéndice natural, con la descripción sucinta de los órganos de la voz y del oído y la teoría física de sus funciones.

Aleccionado por la práctica de ocho años, me he esforzado sobre todo en dar á la exposicion la forma más vulgar y clara, sin que pueda lisonjearme de haberlo conseguido por completo, particularmente en lo relativo á la descripción de los aparatos, por falta de láminas á que referirme. Los alumnos de Cádiz pueden, sin embargo, obviar este inconveniente visitando el gabinete de Física del Instituto, quizá el más rico de España en su clase, pues entre los 1.060 instrumentos que posee, figuran 70 para el estudio de la Acústica, contruidos por los más acreditados fabricantes modernos.

Nada original ofrece este compendio si se exceptúa lo concerniente al método de exposicion y eleccion de las materias, forzosamente nuevos por falta de modelo que imitar; pero tiene utilidad incontestable para los alumnos, y acaso contribuya á que alguno de los muchos artistas ilustrados y distinguidos físicos de nuestra patria incline sus miras á la propagacion de esta clase de estudios que tan preferente lugar van ocupando en Alemania, Francia é Inglaterra. Si tal sucede, pronto aparecerán obras más completas sobre esta materia que satisfagan cumplidamente las exigencias de la instruccion artístico-musical de los tiempos modernos, con lo cual habré conseguido cuanto pudiera desear.

JOSÉ ALCOLEA.

Mayo de 1883.



# ÍNDICE.

---

	<i>Páginas.</i>
DEDICATORIA .. .. .	III
PRÓLOGO .. .. .	V

## NOCIONES PREPARATORIAS.

---

ARITMÉTICA. .. .. .	9
GEOMETRÍA.. .. .	11

## PRIMERA PARTE.

---

### GENERALIDADES DE FÍSICA.

---

I.—Definiciones generales .. .. .	17
II.—Propiedades de los cuerpos .. .. .	20
III.—Nociones de mecánica .. .. .	22
IV.—Gravedad: péndulo: idea del choque: rozamiento.	26
V.—Gases: aire atmosférico: fuelles .. .. .	28

## SEGUNDA PARTE.

---

### ACÚSTICA.

VI.—Generacion del sonido en los cuerpos sólidos ..	32
VII.—Sonidos de los fluidos: trasmision de las vibraciones .. .. .	36
VIII.—Accion de las vibraciones en el aire: onda sonora.	93

IX.—Propagacion de las ondas: velocidad del sonido . . . . .	43
X.—Reflexion del sonido y sus efectos . . . . .	47
XI.—Refraccion, inflexion é interferencia del sonido . . . . .	54
XII.—Valuacion numérica de las vibraciones: método acústico . . . . .	58
XIII.—Determinacion de las vibraciones por el método gráfico . . . . .	63
XIV.—Método óptico: composicion de los movimientos vibratorios: llamas manométricas.. . . .	66
XV.—Fonógrafo: teléfono magnético . . . . .	70
XVI.—Micrófono: teléfono de pila: fotófono . . . . .	73

### TERCERA PARTE.

---

#### TEORÍA FÍSICA DE LA MÚSICA.

---

XVII.—Cualidades del sonido musical: intensidad sonora. . . . .	77
XVIII.—Tonalidad: acordes: escala musical. . . . .	81
XIX.—Intervalos de la gamma: modos: escala cromática . . . . .	86
XX.—Diapason: armónicos: extension vocal é instru- mental . . . . .	91
XXI.—Timbre: análisis y síntesis de los sonidos . . . . .	96
XXII.—Vibraciones de las cuerdas . . . . .	101
XXIII.—Aplicaciones de la teoría física á los instrumentos de cuerda . . . . .	106
XXIV.—Vibraciones del aire en los tubos sonoros . . . . .	111
XXV.—Nodos y vientres en los tubos sonoros: leyes de Bernouilli . . . . .	117
XXVI.—Instrumentos de viento.. . . .	122
XXVII.—Vibraciones de las varillas: aplicaciones á la mú- sica . . . . .	129

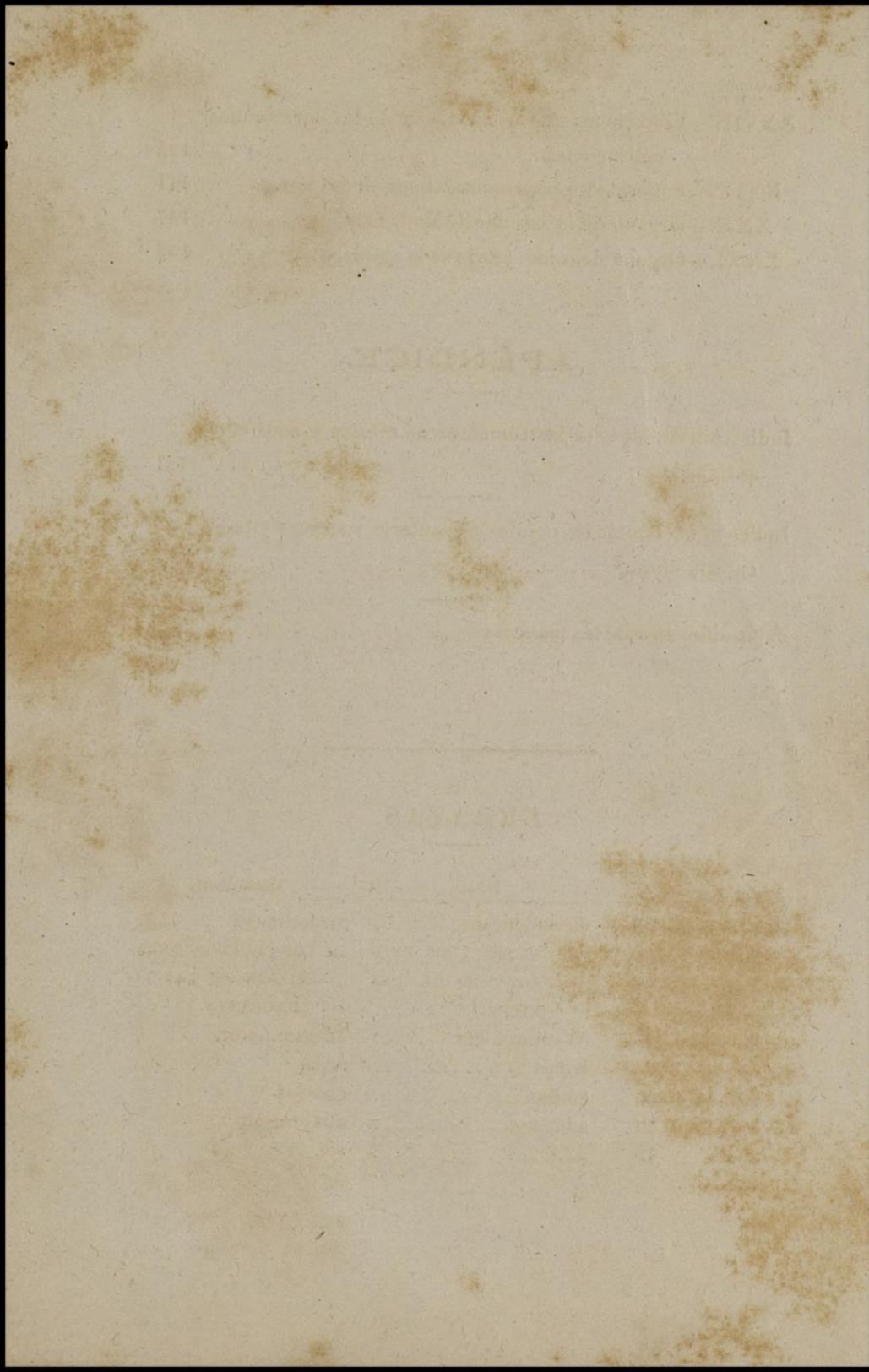
XXVIII—Vibraciones de las placas y de las membranas:  
 aplicaciones... .. 135  
 XXIX.—Sonoridad é impresionabilidad de las llamas .. 141  
 XXX.—Organo de la voz: teoría de la fonacion. .. 147  
 XXXI.—Organo del oido: teoría de la audicion.. .. 153

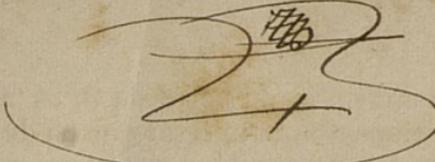
**APÉNDICE.**

Indicacion de algunos instrumentos de música usados en la  
 antigüedad .. .. 161  
 Índice alfabético de los nombres de autores y artistas citados  
 en esta obra.. .. 165  
 Tabla alfabética de las materias .. .. 167

**ERRATAS.**

<u>Página.</u>	<u>Línea.</u>	<u>Dice.</u>	<u>Debe decir.</u>
23	13	direcciones.....	direccion es
36	2	DE LOS LÍQUIDOS: PRO- PAGACION DE LAS ONDAS.....	DE LOS FLUIDOS: TRAS- MISION DE LAS VI- BRACIONES.
36	14	Westiminster. ....	Westminster.
39	6	harpa.....	arpa.
65	20	conlos.....	con los
80	30	adapcion.....	adaptacion
89	19	so <sup>l</sup> .....	sol.





ELEMENTOS DE ACÚSTICA  
 Y  
 TEORÍA FÍSICA DE LA MÚSICA.



NOCIONES PREPARATORIAS INDISPENSABLES A LOS ALUMNOS.

ARITMÉTICA.

Se dice que es *evidente* lo que todos comprenden con claridad sin ninguna explicacion. *Una cosa es igual á ella misma; una cosa no puede ser y no ser al mismo tiempo*, son dos proposiciones evidentes que, como todas las que encierran una verdad tan clara, se conocen con el nombre de *axiomas*.

Se llama *cuadrado* ó *segunda potencia* de un número el producto que resulta de multiplicarlo por *sí mismo* una vez: el cuadrado de 2 es 4, el de 3 es 9, etc. Para indicar que un número se ha de elevar á la segunda potencia ó al cuadrado, se escribe á su derecha y un poco mas alto un 2, llamado *exponente*, en esta forma  $5^2$ ; y se lee cinco *elevado al cuadrado* ó á la segunda potencia.

*Cubo* ó *tercera potencia* de un número es el producto de multiplicarlo por *él mismo* dos veces: el cubo de 2 es 8; el de 3 es 27. La elevacion al cubo se indica con el exponente 3, así:  $4^3$ , y se lee *cuatro elevado al cubo* ó á a tercera potencia.

De la definicion se deduce que el cuadrado y el cubo de 1 es tambien 1.

*Raiz cuadrada* de un número es otro número que multiplicado por sí mismo una vez produce el primero: se-

gun esto, 3 que multiplicado por 3 da 9, es la raíz cuadrada de este último. Para expresar que ha de extraerse la raíz cuadrada de una cantidad se coloca esta bajo el signo  $\sqrt{\quad}$  llamado *radical*: en el caso citado se indica de este modo  $\sqrt{9}$ , que se lee *raíz cuadrada* de nueve.

La extracción de la *raíz cúbica*, ó sea el número que multiplicado por sí mismo dos veces produce el número dado, se indica con un 3, que es el *índice de la raíz*, colocado en la abertura del signo radical de esta manera  $\sqrt[3]{8}$ , y se lee *raíz cúbica de ocho*.

*Duplo* de cualquier número es el producto de multiplicarlo por *dos*, y *triplo* el resultado de multiplicarlo por *tres*; el duplo de 3 es 6 y el triplo de 4 es 12. No deben confundirse el duplo con el cuadrado, ni el triplo con el cubo.

Llámanse *razon* ó *relacion* entre dos cantidades el cociente que se obtiene dividiendo la una por la otra: la razon entre *diez* y *cinco* es 2, resultado de dividir 10 por 5. Las razones se expresan poniendo dos puntos entre el dividendo ó *antecedente* y el divisor ó *consecuente*, y tambien en forma de quebrado, como se vé á continuacion:  $3 : 6, \frac{3}{6}$  que se lee *tres es á seis*. Se dice que dos cantidades, relacionadas entre sí, son *directamente proporcionales* ó simplemente *proporcionales* cuando suponiendo que la una aumente, la otra debe lógicamente aumentar tambien. Si tres piezas de tela cuestan, por ejemplo, doce duros, seis piezas costarán veinticuatro; pues á doble número de piezas debe corresponder doble número de duros: luego el costo es directamente proporcional al número de piezas.

Cuando en el supuesto de que aumente una de las cantidades la otra debe por razon natural disminuir, se dice que son *inversamente proporcionales*. Suponiendo que seis carpinteros concluyan una obra en ocho dias, doce carpinteros, trabajando de igual modo, deberán hacerla en cuatro dias: aquí el número de dias es *inversamente* proporcional al de trabajadores, porque *más* carpinteros invierten en el mismo trabajo *menos* dias.

RELACION APROXIMADA DE ALGUNAS MEDIDAS Y PESAS DEL SISTEMA  
MÉTRICO DECIMAL CON LAS DEL ANTIGUO.

<i>Unidades.</i>	<i>Divisiones.</i>	<i>Equivalencias aproximadas.</i>
Metro lineal..	10 decímetros ... ..	1 vara y 7 pulgadas.
Decímetro ...	10 centímetros ... ..	4 pulgadas y 4 líneas.
Vara. ... ..	3 pies ó tercias... ..	83 centímetros y medio.
Pie ... ..	12 pulgadas... ..	2 decímetros y 8 centímetros.
Kilógramo ...	1000 gramos ... ..	2 libras y 3 onzas menos 4 adarmes.
Gramo ... ..	10 decigramos ... ..	20 granos.
Libra ... ..	16 onzas .. ..	460 gramos.
Onza. ... ..	16 adarmes ... ..	28 gramos y 8 decigramos.
Litro. ... ..	10 decilitros... ..	2 cuartillos.
Metro cuadr. <sup>do</sup>	100 decímetros cuadr. <sup>dos</sup>	13 pies cuadrados.
Metro cúbico.	1000 decímetros cúbicos.	1 y $\frac{1}{2}$ vara cúbica.

G E O M E T R Í A .

*Línea* es la reunion de muchos puntos sucesivos: las líneas se señalan y determinan por medio de letras que corresponden á dos de sus puntos cuando menos.

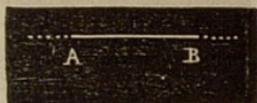


Fig. 1.

La línea es *recta* cuando tiene sus puntos en una misma direccion como A B [Fig 1.]

Se llama *curva* si sus puntos tienen direcciones distintas sin que ninguna porcion sea recta, como las dos representadas en la [Fig 2] con las letras A C B y A D B.

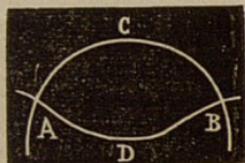


Fig. 2.

En el caso de estar formada por varias rectas que se cortan, como la A B C D E [Fig. 3] recibe el nombre de línea *quebrada* ó *poligonal*.

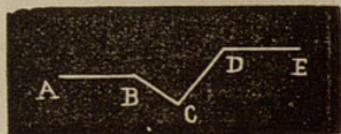


Fig. 3.

Una recta es *vertical* cuando tiene exactamente la misma direccion de un hilo que sostenido por una punta lleva en el otro extremo sujeto un peso cualquiera.

Si la recta ofrece igual direccion que el filo de la tapa de una mesa bien nivelada se dice que es *horizontal*.

En cualquier direccion distinta de estas dos se llama *oblicua*.

Dos ó más rectas verticales, horizontales ú oblicuas son *paralelas* cuando tienen todos sus puntos igualmente distantes entre sí como las  $CD$  y  $EF$  de la [Fig. 4]: en este caso se hallan las rayas del pentágono.

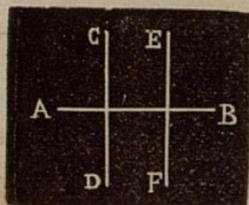


Fig. 4.

*tice* y cada una de

*Angulo* es la abertura comprendida entre dos rectas que se cortan: el punto de encuentro se llama *vértice* y cada una de las rectas *lado del ángulo*.

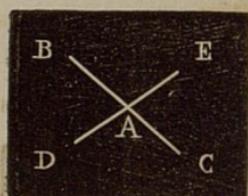


Fig. 5.

Los ángulos se indican con tres letras, nombrando en medio la del vértice:  $BAE$  [Fig. 5] es un ángulo, cuyo vértice está en  $A$ , siendo  $BA$  y  $AE$  sus lados.

Si los lados del ángulo tienen relativamente la misma direccion de los dos bordes que forman cada punta de las hojas de un libro bien cortado, se dice que el ángulo es *recto*; cuando se abren ó separan más *obtuso*, y si comprenden una abertura menor *agudo*. En la [Fig. 6] el ángulo  $BAD$  es recto, el  $BAE$  obtuso y el  $EAC$  agudo.

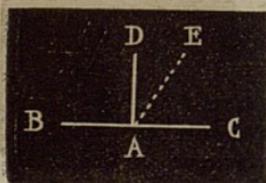


Fig. 6.

longitud.

Dos ángulos son iguales cuando presentan la misma abertura, aunque sus lados tengan diferente

Los dos ángulos formados á uno y otro lado de una recta que encuentra ó corta á otra se llaman *adyacentes*: en el caso de que estos sean iguales, las rectas son *perpendiculares* entre sí. En la [Fig. 7] los ángulos  $BAC$  y  $CAD$  son adyacentes é iguales por ser los dos rectos; por consiguiente la

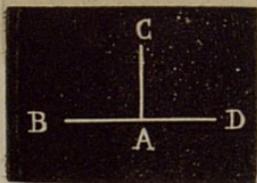


Fig. 7.

recta  $CA$  es perpendicular á la  $BD$ , y recíprocamente la  $BD$  perpendicular á la  $CA$ .

*Superficie* es una extension en la cual se consideran solamente el ancho y el largo, suponiendo que no tuviera grueso.

*Plano ó superficie plana* es aquella que no ofrece la más pequeña desigualdad, como la cara libre del cristal de un espejo, ó la de la tapa de una mesa.

Las superficies á que no puede ajustarse exactamente en todas direcciones el borde de una regla, que represente una línea recta, no son planas; denominándose *convexas* cuando están salientes como la parte externa de un huevo ó de una naranja, y *cóncavas* si son entrantes como la porcion hueca de una cuchara.

*Polígono* se llama una porcion de superficie plana limitada por tres ó más rectas que se cortan: estas reciben el nombre de *lados* del polígono; los puntos en que se juntan el de vértices, y cualquier recta que une dos vértices, no inmediatos, se denomina *diagonal*. En el polígono representado por la [Fig 8]  $AB$ ,  $AD$ ,  $DC$  y  $BC$  son los lados,  $A$ ,  $B$ ,  $C$  y  $D$  los vértices;  $DB$  una diagonal. *Contorno* es la línea quebrada que limita el polígono.

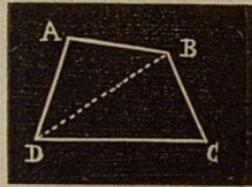


Fig. 8.

*Triángulo* es un polígono que consta de tres lados y tres ángulos: si uno de estos es recto se llama *triángulo rectángulo*, su lado mayor *hipotenusa* y los otros dos *catetos*. Cuando uno de los ángulos es obtuso se le dá el nombre de *obtusángulo*, llamándose *acutángulo* si los tres son agudos: altura del triángulo es la perpendicular bajada desde el vértice de un ángulo sobre el lado opuesto. El triángulo  $ABC$  de la [Fig 9] es rectángulo; siendo  $BC$  su hipotenusa  $AB$  y  $AC$  los catetos, y  $AD$  su altura.

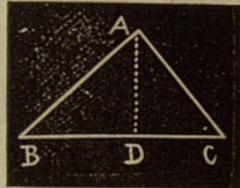


Fig. 9.

*Cuadrilátero* es todo polígono terminado por cuatro lados. Cuando tiene solo dos lados paralelos se llama

*trapezio*, y si lo son sus lados opuesto *paralelógramo*: el paralelógramo cuyos cuatro lados son iguales, pero no los ángulos, recibe el nombre de *rombo*; se le dá el de *rectángulo* cuando sus cuatro ángulos son rectos, y si además son iguales los cuatro lados constituye un *cuadrado* [Fig. 10].



Fig. 10.

*Circunferencia* es una curva plana, cerrada, cuyos puntos están igualmente distantes de otro interior llamado *centro*.

Llábase *círculo* la superficie comprendida dentro de la circunferencia: una parte cualquiera de esta se denomina *arco*.

Toda recta trazada desde el centro á la circunferencia se llama *radio*, la que vá de un punto á otro de la circunferencia *cuerda*, y si además pasa por el centro *diámetro*. En la [Fig. 11] D A B C es la circunferencia, O el centro, B C un arco, O B un radio, A B una cuerda y A C un diámetro.

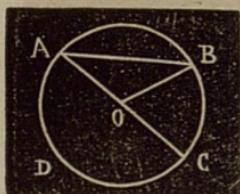


Fig. 11.

La circunferencia se divide en 360 partes iguales llamadas *grados*.

Dos diámetros perpendiculares entre sí forman cuatro ángulos rectos, cada uno de los cuales comprende entre sus lados un arco de  $90^\circ$ , cuarta parte de la circunferencia ó sea un *cuadrante*. El ángulo B A C [Fig. 12], lo mismo que los otros tres, es recto, y el arco B C representa un cuadrante.

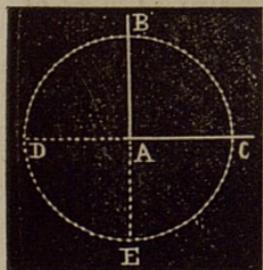


Fig. 12.

Se dice que dos circunferencias son *tangentes* cuando se tocan en un punto que se lla-

ma *punto de contacto*. Las circunferencias  $O$  y  $O'$  [Fig. 13] son tangentes y su punto de contacto es  $A$ .

Las circunferencias que tienen el mismo centro y diferente radio reciben el nombre de *concéntricas*, como las  $AB$  y  $CD$  [Fig. 14] cuyo centro común es  $O$ , y  $OA$ ,  $OC$  respectivamente sus radios.

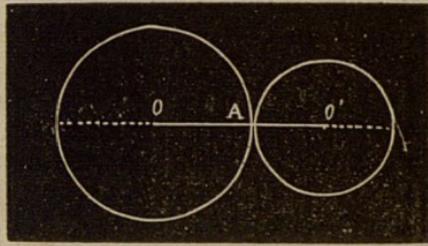


Fig. 13.

Todos los cuerpos presentan tres dimensiones, *longitud* ó largo, *latitud* ó ancho, y *profundidad* ó grueso.

Por *volúmen* se entiende el espacio que ocupa un cuerpo.

Se llama *cubo* un cuerpo que tiene la forma de un dado y está terminado por seis *caras* ó superficies, cuadradas é iguales: del encuentro de las caras resultan doce bordes, también iguales, llamados *aristas*:  $e c$  [Fig. 15] representa un cubo.

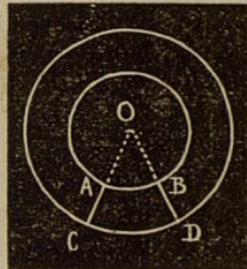


Fig. 14.

*Prisma* se denomina un cuerpo en el cual dos de sus caras, llamadas *bases*, son polígonos iguales y paralelos, siendo todas las demás paralelógramos:  $EC$  [Fig. 15] es un prisma de base cuadrada.

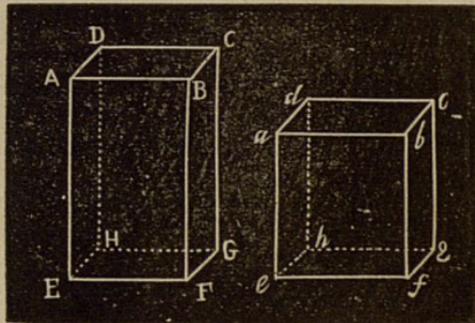


Fig. 15.

*Esfera* es un cuerpo redondo como una bola de billar, ó una pelota de goma, que tiene todos los puntos de su superficie igualmente distantes de otro interior que es su *centro*. Todas las rectas que pueden concebirse trazadas desde el

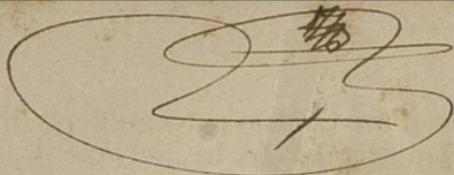
centro á los distintos puntos de la superficie, son iguales y se llaman *radios* de la esfera. Cuando dos esferas se tocan en un punto se dice que son *tangentes*.

Si se supone una esfera dividida en dos partes iguales, cada una de ellas constituye un *hemisferio*.

Una esfera tocando con un plano, se dice que es *tangente* á él en el punto de contacto.

*Cilindro* es otro cuerpo redondo por el contorno y terminado en sus extremos por dos círculos iguales llamados *bases*. Radio y diámetro de un cilindro son los de los círculos de sus bases correspondientes. La recta que une los centros de las dos bases se llama *eje* del cilindro recto, y altura es la distancia que media entre éstas.

Una columna del mismo grueso en toda su longitud, las cuerdas de los instrumentos de música, etc., son cilindros.



## LECCIONES DE ACÚSTICA

x

### TEORÍA FÍSICA DE LA MÚSICA.

---

#### PRIMERA PARTE.

---

#### GENERALIDADES DE FÍSICA.

---

#### LECCION I.

##### DEFINICIONES GENERALES.

FÍSICA es la ciencia que estudia las modificaciones ó *fenómenos* que los cuerpos presentan cuando por ellos no cambia su composicion.

*Materia* ó *sustancia* se denomina todo aquello de que tenemos conocimiento por medio de los sentidos. Los objetos que apreciamos con la vista ó por el tacto son materia: las impresiones recibidas por el oído, el paladar ó el olfato nos revelan igualmente su existencia.

Una porcion grande ó pequeña de materia, cualquiera que sea su forma, se llama *cuerpo*. Un grano de arena, una nube, el aire, el agua etc., son cuerpos.

Los cuerpos no están constituidos por materia continua, sino que resultan de la agregacion de partes sumamente pequeñas é invisibles denominadas *átomos*, los cuales dejan entre sí espacios tambien invisibles, porque no se adaptan perfectamente unos á otros. Figurándose una pasta hecha con arena muy fina y agua engomada se tendrá una idea de la constitucion íntima de los cuerpos.

La reunion de varios átomos constituye una *molécula*

la que tampoco alcanza un tamaño perceptible, y del conjunto de las moléculas resultan las *partículas*, las cuales ofrecen ya una magnitud apreciable. Los corpúsculos que flotan en el aire y las limaduras de los metales son ejemplos de partículas. La cantidad de materia que cada cuerpo contiene se llama *masa*.

Entiéndese por *estado de los cuerpos* la distinta manera como estos se presentan. Los estados son tres: *sólido, líquido y gaseoso*.

En el estado sólido conservan los cuerpos la forma que natural ó artificialmente hayan recibido, son más ó menos duros, necesitándose algun esfuerzo para poderlos fraccionar. Las piedras, la madera, el cristal, la cera etc. se presentan ordinariamente en este estado.

En el estado líquido no tienen los cuerpos forma propia, se amoldan á las vasijas que los contienen, sus moléculas resbalan fácilmente unas sobre otras y no presentan resistencia cuando se los divide. El agua, los aceites, el plomo fundido, la cera derretida pueden citarse como tipos de este estado.

En el estado gaseoso ó *aeriforme* tampoco ofrecen forma determinada, ni resistencia á la division; antes al contrario, se nota en ellos una tendencia constante á ocupar mayor espacio, sus moléculas poseen mayor movilidad que en los líquidos y cualquiera que sea su cantidad llenan por completo los recipientes donde se encierran. El aire, el gas del alumbrado, el humo, entre otros, presentan estos caractéres. Los líquidos y los gases reciben el nombre comun de *fluidos*.

Un mismo cuerpo puede afectar los tres estados sin variar por eso de esencia, pues el diferente aspecto que en cada uno de ellos ofrece es solo el resultado de la cantidad distinta de calor que encierra en su masa. El agua, bajo el influjo de los grandes frios, se solidifica formando el hielo, es líquida á la temperatura ordinaria y calentándola pasa al estado gaseoso ó de vapor.

Se dá el nombre de *cohesion* á la fuerza que une los átomos ó moléculas de igual especie. La cohesion es notable en los sólidos, casi nula en los líquidos, y se halla

vencida en los gases por la accion repulsiva del calor.

Toda variacion ó cambio perceptible en la materia de los cuerpos que no altere su composicion, se llama *fenómeno fisico*. La produccion de un sonido, el hecho de aflojarse las cuerdas de una guitarra, la rotura de un vaso, la caida de una silla etc. son fenómenos físicos.

Como no es posible concebir efecto alguno sin causa que lo produzca, los fenómenos se suponen producidos por causas naturales ó *agentes físicos*; admitiéndose como tales la *atraccion universal*, el *calórico*, la *luz*, la *electricidad* y el *magnetismo*. Los cuatro últimos pueden considerarse como manifestaciones distintas de uno solo llamado *éter*.

Bajo el nombre de *ley fisica* se expresa la relacion constante que se ha comprobado entre un fenómeno y la causa que lo produce. El hecho de que en igualdad de circunstancias vibran las cuerdas más rápidamente cuanto más delgadas son, constituye una ley física que se formula diciendo: *el número de vibraciones de una cuerda se halla en razon inversa de su diámetro*.

El conjunto de leyes relacionadas con una clase ó grupo de fenómenos constituye una *teoría fisica*. En este concepto, la reunion metódica de leyes referentes á los sonidos musicales se llama *teoría fisica de la música*.

*Observacion* es la aplicacion atenta de los sentidos para apreciar las particularidades de un fenómeno en cuya produccion no se interviene, y *experimento* la apreciacion de un fenómeno que resulta de haber puesto en juego deliberadamente los medios capaces de producirlo: en el mismo sentido se usa la palabra *experiencia*. El que percibe la desafinacion de otra persona al cantar *hace una observacion*; el que afloja una cuerda del violin comprobando que los sonidos son por este motivo más graves *hace una experiencia*.

## LECCION II.

### PROPIEDADES DE LOS CUERPOS.

---

Se denominan *propiedades* de los cuerpos las diversas maneras con que impresionan los sentidos.

Las que se observan siempre en todos ellos, cualquiera que sea su estado, se llaman *generales*, y las que solo se encuentran en determinados cuerpos, ó únicamente en algun estado, reciben el nombre de *particulares*.

Considéranse como generales la *extension*, *impenetrabilidad*, *divisibilidad*, *porosidad*, *compresibilidad*, *elasticidad por presion*, *movilidad* é *inercia*.

*Extension* es la propiedad que tienen los cuerpos de ocupar una parte del espacio.

La propiedad que posee cada átomo de excluir á los demás del lugar que él ocupa, se llama *impenetrabilidad*. Los cuerpos, tal como se hallan constituidos, gozan de esta facultad aunque no de una manera absoluta.

La impenetrabilidad de los sólidos, se comprueba por el hecho harto conocido de que dos objetos no pueden hallarse precisamente en igual sitio al mismo tiempo.

La de los líquidos, se aprecia echando con precaucion agua en un vasito lleno de aceite, notándose que á medida que el agua entra se derrama por los bordes el aceite expulsado por ella.

La impenetrabilidad de los gases se hace ostensible pegando un papel en el fondo de una copa é introduciendo esta verticalmente y boca abajo en un vaso con agua: aunque la copa llegue al fondo, si se saca con igual precaucion, el papel permanece seco, porque el aire encerrado en ella no ha permitido al agua tocarlo.

*Divisibilidad* se llama la propiedad que todo cuerpo tiene de poderse fraccionar en partes más ó menos pequeñas. Esta division es susceptible de llegar á un grado sorprendente. Una porcion insignificante de añil dá

color á una gran cantidad de agua, siendo evidente que ha debido subdividirse de un modo extraordinario puesto que el color azulado revela su existencia en toda la masa del líquido.

*Porosidad* es la propiedad que los cuerpos tienen de dejar entre sus átomos pequeños intersticios llamados *poros*. Todos los cuerpos, sin excepcion, disminuyen de volúmen enfriándolos y comprimiéndolos, lo cual no deja duda de que tienen poros, toda vez que los átomos no pueden penetrar unos en otros.

Los instrumentos de cuerda, así como los timbales y redoblantes se destemplan cuando el aire está muy húmedo porque el vapor acuoso penetra en los poros de las cuerdas ó del pergamino y disminuye su tirantez. Las cajas armónicas de los violines, contrabajos, etc., se construyen de maderas compactas y además se barnizan para disminuir los efectos de la porosidad, y por la misma causa es conveniente cubrirlos con fundas de lana.

*Compresibilidad* se llama la propiedad existente en los cuerpos de poder disminuir de volúmen por la presión: es una consecuencia de la porosidad y una prueba indirecta de ella.

Los gases son muy compresibles, hasta el punto de poderse reducir á un volúmen veinte ó más veces menor; los líquidos se dejan comprimir muy poco, y aunque entre los sólidos hay mucha diversidad, no faltan algunos como la goma elástica, el corcho, las telas y las maderas que se contraen bastante por la presión.

*Elasticidad* es la propiedad que consiste en recuperar los cuerpos por sí mismos la forma y volúmen que tenían cuando se han hecho variar por la presión, y en casos particulares doblándolos, estirándolos ó torciéndolos.

En virtud de esta propiedad, una pelota de goma despues de aplastada vuelve á adquirir su redondez si se deja libre, las cuerdas del arpa encorvadas por la acción de los dedos toman muy pronto la dirección rectilínea, un hilo retorcido se destuerce por sí solo, y los cordones

de caoutchouc estirados, se acortan en cuanto cesa la traccion.

Los gases y los líquidos poseen una elasticidad perfecta, es decir, que por mucho que haya disminuido su volúmen por la presion, se dilatan hasta adquirir exactamente el mismo que tenian, cuando ésta deja de actuar. Entre los sólidos hay algunos como el marfil, la ballena, el acero y las cuerdas de los instrumentos de música que son muy elásticos, mientras otros como el barro y el plomo apenas dan indicios de esta propiedad.

Llámase *movilidad* la propiedad inherente á los cuerpos de poder ser trasladados de un punto á otro. El hecho de estar un cuerpo cambiando de lugar recibe el nombre de *movimiento* y su permanencia en igual sitio el de *reposo*.

Se dá el nombre de *inercia* á la ineptitud de la materia para darse movimiento á sí misma, ó para modificar el que se le comunica. Por la inercia permanecen los objetos en el lugar donde se los coloca, y bajo su influjo se mueven continuamente la luna y los demás astros: los primeros necesitan para moverse la accion de una fuerza; los segundos no quedarian en quietud sin la intervencion de otra capaz de destruir su movimiento.

### LECCION III.

#### NOCIONES DE MECÁNICA.

*Mecánica* es la ciencia que se ocupa del estudio de las fuerzas y sus efectos.

Se aplica el nombre de *fuerza* á toda causa ó agente capaz de producir movimiento ó de modificarlo. La accion muscular del hombre ó de los animales, la tension de los vapores, la elasticidad de un muelle, la gravedad, el calor etc., son fuerzas.

En general se llaman *potencias* las fuerzas que actúan para producir un efecto, y *resistencias* las que se oponen á su accion.

Si las fuerzas obran sobre los cuerpos durante un tiempo muy pequeño son *instantáneas*, y *continuas* en el caso contrario. La explosion de la pólvora pertenece á la primera clase y la traccion ejercida por las pesas de un reloj á la segunda.

*Equilibrio* es el resultado de la contraposicion de fuerzas cuyos efectos se neutralizan: se diferencia del reposo en que éste no supone la intervencion de fuerza alguna.

En toda fuerza hay que considerar tres cualidades: el *punto de aplicacion*, la *direccion* y la *intensidad*. Punto de aplicacion es aquel en que la fuerza actúa inmediatamente sobre el cuerpo; direcciones la línea recta que la fuerza tiende á hacer recorrer al punto de aplicacion, é intensidad la energía con que la fuerza obra.

Los tres elementos de cada fuerza se representan por una línea recta, cuya longitud marca la intensidad, su direccion la que la fuerza tenga, y uno de sus extremos determina el punto de aplicacion.

Conviene tambien tener en cuenta lo que se ha llamado *sentido* de la fuerza, ó sea el modo como obra. Un carrito, por ejemplo, se puede arrastrar tirando de él con una cuerda, ó empujándolo delante de sí: en uno y otro caso el sentido de la fuerza es opuesto, aunque conserve la misma direccion.

Cuando varias fuerzas obran de consuno para producir un efecto constituyen un *sistema de fuerzas*, cada una de las cuales se llama *componente*: la fuerza que equivale en direccion é intensidad al conjunto de todas ellas recibe el nombre de *resultante*.

La resultante de dos fuerzas iguales que obran sobre un punto, en la misma direccion y en sentido contrario es nula, quiere decir, que ambas se equilibran ó destruyen. Dos individuos empujando horizontalmente con igual esfuerzo sobre cada una de las caras de una puerta, no consiguen moverla.

La resultante de dos ó más fuerzas, obrando sobre un punto en igual sentido y direccion, equivale á la suma de ellas y conserva su direccion misma. El efecto de

traccion de varias mulas tirando de un carro se comprende que es igual á la suma de los esfuerzos de todas ellas.

Si dos fuerzas desiguales actúan en un punto de un cuerpo y en la misma direccion, pero obrando en sentido contrario, su resultante está representada por la diferencia de ellas y el cuerpo se mueve en el sentido de la mayor. Si suponemos tres hombres de igual potencia muscular, dos de los cuales tiran del extremo de un palo y el otro del extremo opuesto, éste será arrastrado por aquellos que representan la fuerza mayor.

El valor de las fuerzas es proporcional á las masas que mueven y á las velocidades que les comunican.

Cualquier cuerpo mientras se está moviendo recibe el nombre de *móvil*: la línea que recorre en su movimiento se llama *trayectoria*. Cuando todos los puntos del cuerpo se mueven en igual sentido paralelamente unos á otros, se dice que el movimiento es *de traslacion*, y si giran al rededor de una recta, de *rotacion* ó *rotatorio*.

*Movimiento uniforme* es aquel en que el móvil recorre espacios iguales en los mismos tiempos, y *variado* cuando avanza espacios diferentes en igualdad de tiempo. Las manecillas de un reloj marchan con movimiento uniforme; un tren, al llegar á la estacion, camina con movimiento variado, pues adelanta en el mismo tiempo espacios cada vez menores.

Se llama *velocidad* en el movimiento uniforme al espacio recorrido en la unidad de tiempo.

*Máquina*, en general, es cualquier aparato que sirve para transmitir la accion de una fuerza, modificando su direccion ó su intensidad.

Como las partes ú órganos de una máquina son cuerpos inertes, no pueden producir fuerza por sí, antes al contrario, consumen inútilmente en moverse parte del impulso que les comunica el agente ó *motor* que todos necesitan para funcionar.

Admítense dos clases de máquinas: *simples y compuestas*.

Entre las primeras se cuenta la *palanca*, que es una barra inflexible, recta, curva ó angular dispuesta de modo que pueda girar al rededor de un punto fijo llamado *fulcro*. En la palanca, como en todas las máquinas, hay que considerar tres cosas: la *potencia* ó sea el agente que tiende á vencer algun obstáculo; la *resistencia*, que es el obstáculo mismo, y el punto fijo ó de *apoyo* que sufre la accion simultánea de la potencia y de la resistencia y en torno del cual la palanca gira.

*Brazos de palanca* de la potencia y de la resistencia son respectivamente las distancias que médián entre el punto de apoyo y el de aplicacion de cada una de aquellas.

Atendiendo á la situacion relativa de la potencia, la resistencia y el punto de apoyo, se distinguen tres *géneros* de palanca.

En la palanca de *primer género* el fulcro se halla entre los puntos donde se aplican la potencia y la resistencia; en la de *segundo género* la resistencia está aplicada entre la potencia y el punto de apoyo; en la de *tercer género* la potencia obra entre el punto fijo y el de aplicacion de la resistencia.

Muchos utensilios y herramientas son esencialmente palancas. Cada rama de las tijeras constituye una palanca de primer género: la potencia se aplica en los ojos, la resistencia está entre las cuchillas, y el punto fijo en el clavo: á las tijeras se asimilan las tenazas de diversas formas, los alicates, la balanza, la romana, etc. Los remos cuando funcionan son palancas de segundo género: el punto de apoyo se halla en el agua, la resistencia en el costado del barco y la potencia donde aplica las manos el remero. El pedal de una máquina de coser ó de un armonium representa una palanca de tercer género: el punto de apoyo está en el eje sobre que gira, la resistencia en la parte opuesta y la potencia en el intervalo donde se coloca el pié.

Las palanquetas de los albañiles pueden emplearse, segun convenga, como palancas de cualquiera de los tres géneros.

## LECCION IV.

GRAVEDAD: PÉNDULO: IDEA DEL CHOQUE: ROZAMIENTO.

---

Se ha comprobado en todos los cuerpos una tendencia á aproximarse unos á otros, conocida con el nombre general de *gravitacion*. Esta atraccion recíproca se verifica *en razon directa de las masas é inversa del cuadrado de las distancias*.

Nuestro globo atrae á los cuerpos que lo rodean y es atraído por ellos; pero siendo su masa inmensamente mayor que la de los más grandes que ocupan su superficie ó se hallan en su atmósfera, la fuerza atractiva de la Tierra oscurece la de los cuerpos y siempre son estos los que se mueven hácia ella. Esta fuerza, que se traduce por la tendencia que todos tienen cuando se abandonan á sí mismos á dirigirse al centro de la esfera terrestre, se conoce con el nombre de *gravedad*.

A la gravedad se debe que los objetos libres en el aire desciendan hasta tropezar con algun obstáculo; de ella depende la corriente de los rios; la salida de los líquidos de las vasijas; la presion que segun su masa ejercen los cuerpos sobre el sitio en que se apoyan y la consiguienste resistencia que presentan á ser levantados, es decir, su *peso*.

La direccion seguida por los cuerpos al caer marca la línea vertical, la cual se determina por la posicion que toma en el estado de equilibrio la *plomada*, que consiste simplemente en un hilo sujeto por un extremo y que lleva en el otro una esfera de metal.

El *péndulo* consta ordinariamente de una varilla suspendida por arriba de modo que pueda oscilar, y en cuya parte inferior va fija una pieza metálica en forma de lente.

*Movimiento oscilatorio* es el vaiven que el péndulo adquiere cuando se le aparta de la posicion de equilibrio.

*Oscilacion* se llama el paso del péndulo de su posición á un lado de la vertical á otra equidistante en el lado opuesto; *amplitud de la oscilacion* el arco que recorre en este movimiento, y *duracion de la oscilacion* el tiempo invertido en recorrerlo.

La duracion de las oscilaciones del péndulo está sometida á cuatro leyes, dos de las cuales son las siguientes: 1.<sup>a</sup> En un mismo péndulo las oscilaciones que no pasan de tres grados, son isócronas; lo cual quiere decir que si no exceden de este límite, se verifican *en el mismo tiempo* cualquiera que sea su amplitud.

2.<sup>a</sup> En péndulos desiguales la duracion de las oscilaciones se halla en razon directa de las raices cuadradas de sus respectivas longitudes; es decir, que si un péndulo tiene de largo 1 decímetro y el otro 4, siendo 1 y 2 las raices cuadradas de estos números, á cada dos oscilaciones del primero corresponderá una del segundo, puesto que la duracion es proporcional á dichas raices.

En la teoría del péndulo se funda la construccion del *metrónomo*, instrumento de cómoda y útil aplicacion para medir los tiempos en la música.

El de Maëzel, bastante generalizado, consiste en un péndulo que en vez de estar suspendido por el extremo de la varilla, gira sobre un eje situado á unos tres centímetros de la lente. La parte de varilla que sobresale por encima del eje oscilatorio lleva una pieza de plomo, que puede hacerse correr á voluntad á lo largo de aquella, para que corresponda su borde superior á cualquiera de las divisiones de una regla fija en la caja del instrumento. Cada division lleva un número que marca las oscilaciones que dá el péndulo cuando la pieza ha sido colocada frente á la division correspondiente á aquel. La escala empieza por 40 en el extremo superior, y termina por 208 en la parte más baja, cuyas cifras expresan el menor y mayor número de oscilaciones que con el metrónomo se pueden obtener en cada minuto.

El movimiento es producido por un muelle de reloj que trasmite su impulso á un sencillo sistema de ruedas, produciéndose en cada oscilacion un choque fuerte

que permita contarlas sin necesidad de mirar al péndulo.

Se llama *choque* el encuentro de dos cuerpos estando uno de ellos en reposo, ó los dos en movimiento.

Los efectos del choque son distintos segun sean ó no elásticos los cuerpos que lo sufren. En el primer caso la impresion comunicada á las moléculas superficiales se trasmite rápidamente á las demás; pero en el acto se desenvuelve en ellas una reaccion en sentido opuesto igual al impulso que han recibido. Esto se demuestra por medio de dos bolas de marfil del mismo peso suspendidas cada cual de un hilo, de modo que los centros estén en línea recta: si separándolas igualmente en el mismo plano á uno y otro lado de la vertical, se abandonan, retroceden despues del choque hasta la misma altura de que cayeron; pues cada una devuelve á la otra el impulso que de ella recibió. Si las dos esferas son de materia no elástica, como el plomo, sometidas á la misma experiencia quedan en quietud despues del choque, lo cual prueba la falta de reaccion.

Por *rozamiento* se entiende la resistencia que los cuerpos oponen á moverse cuando resbalan ó ruedan unos sobre otros. Esta resistencia nace de que por muy lisas que aparezcan las superficies de contacto, tienen realmente escabrosidades cuyas partes salientes y entrantes encajan recíprocamente entorpeciendo por esta causa el movimiento.

El rozamiento varía con la naturaleza de los cuerpos, crece segun su aspereza y es proporcional á la presión.

## LECCION V.

### GASES: AIRE ATMOSFÉRICO: FUELLES.

Los *gases*, ó *fluidos aeriformes*, tienen sus moléculas en un estado continuo de repulsion mútua que se conoce con los nombres de *tension*, *expansibilidad* ó *fuerza elástica*.

Existen treinta y cuatro gases, ó sean otros tantos

cuerpos que afectan el estado aeriforme á la temperatura y presión ordinarias: de ellos solo siete se encuentran naturalmente libres, entre los cuales hay cuatro simples, oxígeno, hidrógeno, ázoe y cloro; mereciendo citarse aquí entre los compuestos solo el ácido carbónico.

La expansibilidad de los gases, ó sea su tendencia á ocupar mayor espacio, se demuestra encerrando en una vejiga grande un corto volúmen de gas y colocándola dentro de la campana de una máquina neumática, que sirve para extraer el aire de un espacio cerrado como las bombas para sacar el agua de un pozo. A medida que el aire sale, la vejiga se infla hasta quedar completamente henchida: dejando entrar de nuevo el aire, la vejiga recupera su anterior volúmen por efecto de la presión que aquel ejerce sobre su superficie.

La fuerza elástica de los gases es siempre igual y contraria á la presión que sufren, y en igualdad de volúmen aumenta con el calor: su densidad es proporcional á la presión.

Aunque á primera vista parezca que los gases no son atraídos por la Tierra, es decir, que no pesan, fácilmente se comprueba lo contrario valiéndose de una balanza muy sensible, donde se pesa primero lleno de aire y despues vacío un globo de cristal, cuya boca tiene una llave perfectamente ajustada. Conociendo la cabida del globo se determina el peso de los diferentes gases á igualdad de volúmen.

Un litro de aire pesa 1 gramo y 293 miligramos, y de hidrógeno, que es el gas más ligero, solo 9 centigramos, ó 90 miligramos.

En virtud de la expansibilidad, los gases producen presiones sobre sus mismas moléculas, sobre los cuerpos en ellos sumergidos y contra las paredes de las vasijas que los contienen.

Por efecto de la gravedad las presiones ejercidas por los gases son iguales en cada capa horizontal, crecen con la profundidad y la densidad de la masa gaseosa, y no varían por la forma que esta tenga.

Se dice que un gas se halla *condensado* cuando sin

variarse en cantidad disminuye de volúmen, teniendo entonces sus moléculas más aproximadas entre sí: cuando crecen los intervalos que las separan, aumenta el espacio ocupado por el gas y éste se encuentra *enrarecido*.

*Atmósfera* es la capa de aire de unos 70 kilómetros de altura, que envuelve al globo terrestre adaptándose á su superficie como la corteza de una naranja á la parte interior del fruto.

El aire atmosférico se halla formado por una mezcla de oxígeno, ázoe, ácido carbónico y una cantidad variable de vapor de agua.

Atraídos los gases por la Tierra, las capas inferiores del aire sostienen á las que están encima siendo comprimidas por ellas, de lo cual resulta que el aire se halla enrarecido en las regiones altas de la atmósfera y condensado en las partes bajas.

Como una consecuencia de su peso, ejerce la atmósfera presiones de arriba abajo, de abajo arriba y lateralmente.

La presión de arriba abajo puede comprobarse por una experiencia recreativa que consiste en introducir en una botella de boca ancha y embudada pedazos de papel ardiendo: pasados algunos momentos se adapta á la boca de modo que ajuste bien un huevo cocido sin cáscara. Este se alarga y vá descendiendo poco á poco, acabando por entrar bruscamente en la botella.

La explicación de este fenómeno es muy sencilla; el aire contenido en la botella ha sufrido un enrarecimiento porque el calor ha expulsado alguna parte de él, y otra se ha consumido en la combustión del papel, quedando por consiguiente con menor fuerza elástica que la presión de la atmósfera, la cual obrando sobre el huevo lo ha arrastrado delante de sí.

La presión de abajo arriba, ó *empuje* del aire, se demuestra adaptando con exactitud al borde de una copa totalmente llena de agua un papel grueso, aplicando sobre éste la palma de la mano izquierda é invirtiendo la copa cogida por el pié con la derecha: si en esta posición se retira la mano izquierda, el papel continúa

adherido y el agua no se derrama porque la presion atmosférica neutraliza la accion de la gravedad.

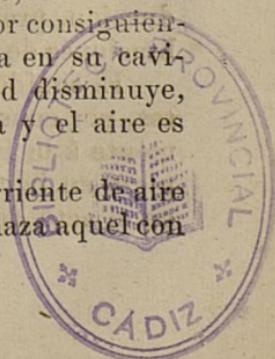
Si una botella de cuello angosto llena de agua se tapa con un dedo, invirtiéndola en un vaso tambien con agua, y separando el dedo cuando el cuello está sumergido, la botella no se vácia porque la presion de la atmósfera sobre el líquido del vaso, trasmitida á la boca de la botella, equilibra el peso del agua contenida en ésta. Por igual causa se sostiene el mercurio en los tubos barométricos, subiendo ó bajando su nivel segun aumente ó disminuya la presion atmosférica.

La presion ejercida sobre nosotros por el aire atmosférico equivale á más de mil arrobas para una persona de mediana corpulencia, y sin embargo no la percibimos porque se efectúa simultáneamente en todos sentidos y se halla contrabalanceada por la reaccion de los fluidos elásticos que forman parte de nuestro organismo.

Los *fuelles* son unos sencillos aparatos mediante los cuales se obtienen corrientes de aire por la accion combinada de la presion atmosférica y la que produce otra fuerza manejada á voluntad.

El fuelle simple se reduce á una capacidad formada por dos tablas unidas entre sí mediante una badana flexible, y envisagradas por el borde más corto en cuyo centro va fijo un tubo para la salida del aire: la tabla inferior tiene en su centro una perforacion cerrada interiormente con una válvula, que consiste en un pedazo de cuero sujeto á ella solo por una parte de su contorno; disposicion que le permite adaptarse al agujero ó separarse de él segun predomine la presion interior ó la de fuera. Cuando por medio de los mangos se apartan las tablas, aumenta la capacidad del fuelle, el aire allí encerrado disminuye de fuerza elástica y por consiguiente el de fuera empuja la válvula y penetra en su cavidad: al aproximarse las tapas la capacidad disminuye, aumentando la presion, ciérrase la válvula y el aire es expulsado por el tubo.

Con el fuelle simple se obtiene una corriente de aire interrumpida. Para hacerla continúa se enlaza aquel con



un depósito de paredes flexibles por sus cuatro costados que descansa sobre la tapa superior del fuelle y por ella comunica con éste mediante un orificio con válvula que funciona de la manera que hemos dicho: el tubo para la salida del aire vá en comunicacion con el depósito.

Al abrirse el fuelle, el aire alzá la válvula y penetra en su interior; al cerrarse se ajusta esta, mientras que la del depósito se levanta para darle paso é impulsarlo despues al tubo por la presion de la tapa superior cargada con un peso conveniente. Tal es la disposicion y modo de funcionar del fuelle acústico de que hablaremos más adelante.

El conocido fabricante de órganos, M. Cavaille-Coll, construye unos pequeños fuelles de doble depósito, mediante los cuales se regula con gran precision la corriente de aire destinada á producir sonidos con los tubos acústicos y con la sirena.

## SEGUNDA PARTE.

---

### ACÚSTICA.

---

#### LECCION VI.

##### GENERACION DEL SONIDO EN LOS CUERPOS SÓLIDOS.

---

*Acústica* es la parte de la Física que estudia la produccion, propagacion y cualidades del sonido, y las vibraciones de los cuerpos elásticos.

El sonido puede considerarse bajo diferentes aspectos, por consiguiente su estudio no pertenece exclusivamente á la Física. La jurisdiccion de esta ciencia empieza en la causa generatriz de la vibracion y concluye en el acto de la impresion sobre el nervio auditivo: los

fenómenos ulteriores en su doble fase orgánica y psíquica, son del dominio de la Fisiología y de la Psicología. La Música emplea los sonidos como un medio de expresar los sentimientos.

*Sonido* es la impresion que produce en el órgano del oído el movimiento vibratorio de los cuerpos, trasmitido por un medio ponderable y elástico.

El sonido propiamente dicho, ó *sonido musical*, se distingue del *ruido* en que el primero es producido por vibraciones ó choques sonoros rápidos y regulares, y el segundo resulta de una sucesion irregular de choques, ó de la mezcla confusa de sonidos discordantes de muy corta duracion.

En el sonido puede siempre determinarse su valor músico, en el ruido solo excepcionalmente, teniendo un oído privilegiado y muy práctico, es posible apreciar su equivalencia musical.

La causa del sonido reside en las vibraciones ú oscilaciones excitadas en las moléculas de los cuerpos elásticos, mediante las sacudidas ó rozamientos que á estos se comunican.

Llámase *vibracion* el movimiento de vaiven, análogo al del péndulo, que las moléculas de los cuerpos elásticos ejecutan á uno y otro lado de su posicion de equilibrio, cuando son separadas de ella por una fuerza exterior que actúa sobre el cuerpo de que forman parte: la amplitud de cada una de estas oscilaciones es sumamente pequeña y su duracion muy corta.

Si se considera el movimiento de cada molécula desde el punto extremo á un lado de la posicion de equilibrio al opuesto y su retroceso al primero, ó sea una ida y vuelta completa, la vibracion se llama *doble*; y si solo se toma en cuenta una ida, ó una vuelta únicamente, recibe el nombre de vibracion *sencilla*.

Conviene no olvidar esta diferencia porque los físicos franceses suelen referir sus cálculos á vibraciones simples, mientras que los ingleses y alemanes toman por base las vibraciones dobles, á las que llaman tambien oscilaciones ú ondulaciones; por consiguiente, la



vibracion francesa es la mitad de una oscilacion ó de una ondulacion.

Del conjunto de vibraciones particulares de las moléculas del cuerpo sonoro resultan en éste conmociones, ó sacudidas, que se comprueban por experiencias fáciles de ejecutar.

Si se hace sonar una cuerda de guitarra, frotada con tiza para darle color blanco, fija por sus extremos á dos puntillas clavadas en la tapa de una mesa pintada de negro, se perciben, mirando por encima, sus movimientos alternativos á uno y otro lado de la direccion rectilínea, hasta que el sonido se extingue.

Frotando con un arco de violin, perpendicularmente á su plano, una placa de laton fija por el centro y cubierta de arena fina, saltan los granos de ésta tumultuosamente en tanto que dura el sonido provocado por el rozamiento: es evidente que las partículas de arena son impulsadas por las moléculas de la placa en vibracion.

Para hacer sensibles las vibraciones, es de útil y cómoda aplicacion en muchos casos el *péndulo acústico*. Este puede tener dos formas distintas, segun se emplee para apreciar las de los cuerpos sólidos por accion directa, ó para comprobarlas á distancia mediante el aire.

En el primer caso se usa el péndulo que llamaremos *comun*, el cual se compone de una varilla montada sobre un pié de madera, y encorvada por arriba á manera de pescante, de cuyo extremo pende una hebra de seda que sostiene una pequeña bola de cera. Colocado cerca del cuerpo vibrante, de modo que la bolita toque á un punto de su superficie, revela por sus sacudidas el movimiento vibratorio.

El otro, que distinguiremos con el nombre de péndulo de *membrana*, consta de un pié terminado superiormente por un aro vertical, á cuyo borde vá pegado un papel delgado, y tocando con una de sus caras un pendulito comun fijo en la parte más alta del bastidor. Para usarlo se sitúa á corta distancia del cuerpo productor del sonido: la agitacion que éste comunica al

aire se trasmite al papel y por su intermedio al péndulo.

Percutiendo una campana de bronce ó de cristal, y aproximando despues á su borde la bolita del péndulo comun, ésta es rechazada por continuas sacudidas, en tanto que el sonido se percibe: de igual modo se comprueban las vibraciones de un hierro de tono ó diapason.

La vibracion de las membranas se hace ostensible polvoreando con arena la piel de una pandereta, colocada boca abajo sobre una mesa, y ejecutando sobre ella redobles con los dedos ó con unos palillos.

Una sucesion rápida de pequeños choques engendra tambien sonidos propiamente dichos, cuyo hecho fué demostrado por Hook hace más de dos siglos.

Savart, en época más próxima, ha conseguido obtener todos los sonidos de la escala desde los más graves hasta los más agudos, haciéndo girar con diferente velocidad una rueda dentada, dispuesta de modo que sus dientes tropezaran contra el borde de un naipe sujeto en un bastidor de madera: cuando la velocidad de rotacion éra pequeña los choques de cada diente se percibian con distincion; pero cuando aquella crecía se engendraba un sonido continuo, tanto más alto cuanto mayor era la rapidez de las vueltas.

El eminente físico M. Tyndall, tan fecundo como original en sus procedimientos experimentales, usa entre otros medios, para obtener sonidos musicales por sacudimientos ó choques veloces, una pala de hierro con cabo del mismo metal; colocándola despues de bien caliente sobre una media caña maciza de plomo y comprimiéndola más ó ménos ligeramente por medio de un punzon: así gradúa á voluntad la rapidez de las sacudidas, que en este caso resultan de la dilatacion intermitente del plomo por el calor que recibe al contacto de la pala.

## LECCION VII.

### SONIDOS DE LOS LÍQUIDOS: PROPAGACION DE LAS ONDAS.

---

Los líquidos son susceptibles de entrar en vibración, produciendo sonidos musicales como los cuerpos sólidos.

El simple hecho de las vibraciones regulares ó periódicas de los líquidos se demuestra frotando con un arco de violin el borde de un gran vaso hemisférico lleno de agua: por efecto del rozamiento aparece en la superficie del líquido una especie de espuma, constituida por numerosas burbujitas, que se agrupan de una manera determinada. Igual resultado se obtendría rozando un dedo con el borde del vaso, ó empleando cualquier otro líquido en vez del agua.

Opina M. Tyndall, que si se pusiera boca arriba la gran campana de Westminster, llenándola también de agua, al hacerla sonar se vería la superficie de ésta cubierta de ondulaciones ú oleadas semejantes á las que produce una piedra lanzada en un estanque.

La producción de sonidos por los líquidos se comprueba haciendo funcionar en el interior del agua la sirena acústica, de que hablaremos más adelante, y de un modo más sencillo repitiendo un experimento de Savart, que consiste en llenar de agua un tubo largo de cristal, colocado verticalmente, y cerrado por la parte inferior con una chapa de latón en cuyo centro va practicado un orificio de igual diámetro que su espesor: al salir por él el líquido, se percibe un melodioso sonido, enjendrado por las vibraciones que á la columna de agua transmiten las intermitencias rápidas é imperceptibles del chorro en el momento de su salida por el orificio.

Los gases, como cuerpos eminentemente elásticos, son también capaces de vibrar y por consiguiente de producir sonidos.

Si nos fijamos en el aire, es fácil convencerse de ello

valiéndose de un tubo parecido á los del órgano, sin mas diferencia que ser de forma prismática y tener de cristal una de sus caras para apreciar lo que sucede interiormente. Una cajita de carton con el fondo de papel de seda, suspendida de tres hilos á la manera de los platillos de una balanza, con un poco de arena fina en su interior, se deja penetrar en el tubo sin que toque á sus paredes: haciendo sonar éste por medio del fuelle acústico, se observa que la arena es fuertemente agitada por las sacudidas que las vibraciones del aire imprimen al papel.

No es preciso recurrir á tubos de órgano para hacer vibrar sonoramente al aire: por un procedimiento bien sencillo se obtiene un resultado no ménos concluyente, al par que misterioso en cierto modo.

Empléase á este fin un tubo metálico en forma de candelero terminado por una boquilla de orificio circular, en el que se hace penetrar por la parte inferior gas del alumbrado por medio de un tubo de goma: inflamando el gas que sale por la boquilla y rodeando la llama con otro tubo largo de cristal, de bastante diámetro, se engendra de improviso un sonido fuerte y continuo, cuyo tono puede variarse á voluntad subiendo ó bajando el tubo envolvente.

Esta particularidad de las llamas, de producir sonidos cuando se hallan rodeadas por tubos en ciertas condiciones, ha sido causa de que se les aplique el nombre de *llamas sonoras*.

Atribúyense á Higgins las primeras observaciones de este género, que verificó sobre la llama del hidrógeno. Como es posible obtener con tubos de longitud distinta todas las notas de la escala, y por otra parte el hidrógeno es un cuerpo que ordinariamente solo se emplea en los laboratorios, se ha llamado *armónica-química* á este experimento de acústica.

M. Tyndall ha llevado la experimentacion sobre este punto á un limite colosal, usando para producir la llama del gas del alumbrado un mechero de muchos orificios, y envolviéndola en un tubo de cuatro metros y medio de longitud y diez centímetros de diámetro: de esta ma-

nera ha obtenido sonidos tan estrepitosos, que con su imaginacion meridional, á pesar de ser inglés, los califica oportunamente de uracan musical.

Para que las vibraciones de los cuerpos elásticos ejerzan impresion sobre el órgano del oido, es indispensable que lleguen á él por el intermedio de otro cuerpo ponderable, y tambien elástico, que vibre simultáneamente, sin cuya circunstancia son aquellos ineficaces; los cuerpos no producen entonces sonido.

Ordinariamente es el aire quien trasmite las vibraciones sonoras, lo cual se demuestra por el siguiente experimento. Bajo la campana de la máquina neumática, que sirve para extraer el aire de cualquier capacidad cerrada convenientemente, se introduce un aparato de relojería que produce un repique como los despertadores. Mientras no sale el aire el timbre suena claramente; pero á medida que aquel se va enrareciendo el sonido se amortigua hasta dejar de percibirse por completo, no obstante que se ve al martillito continuar su movimiento sin variacion alguna.

Dejando entrar el aire en la campana el sonido reaparece de nuevo, sucediendo lo mismo si se hace penetrar en ella otro gas cualquiera.

Esta misma experiencia puede practicarse empleando un balon de cristal provisto de una llave de paso, en cuyo centro va una campanilla pendiente de un hilo: agitando el balon cuando contiene aire, y despues de haberlo extraido, se nota perfectamente la diferencia.

Los cuerpos líquidos trasmiten tambien el sonido, como lo comprueba el hecho de que si una de dos personas, sumergidas en el agua á bastante distancia, hace chocar dos piedras, la otra percibe el ruido con toda claridad. Otra prueba es que los buzos oyen en el fondo del mar lo que se les dice desde la superficie.

La aptitud de los sólidos para trasmitir sonidos es mucho mas notable. Entre los muchos experimentos comprobantes que pudiéramos citar, elegiremos uno bellísimo ideado por Mr. Wheatstone.

Una larga varilla de madera, revestida de goma elás-

tica y encerrada con ajuste dentro de un tubo de hoja de lata, descansaba por su extremo inferior sobre la tapa de un piano situado en el piso bajo de una casa y despues de atravesar dos techos terminaba en el segundo. Fijando en la extremidad superior una tabla, y colocando encima un harpa, se oia con asombro repetir á este instrumento las piezas que un artista ejecutaba en el piano como si los sonidos salieran de aquella; lo cual tenia cierta apariencia maravillosa, puesto que nadie la tocaba ni las cuerdas se movian.

## LECCION VIII.

ACCION DE LAS VIBRACIONES EN EL AIRE: ONDA SONORA.

---

*Medio fisico* se llama el espacio constituido por cualquier especie de materia, ó vacío, en cuyo interior se produce un fenómeno: segun ésto, el agua y el aire son dos medios.

Se dice que un medio es homogéneo cuando tiene en todas sus partes igual composicion y la misma densidad.

La direccion que sigue el sonido al propagarse de un punto á otro en un medio homogéneo recibe el nombre de *rayo sonoro*, y se representa por una línea recta.

La trasmision del sonido, aunque rápida, es progresiva; quiere decir, que aquel no recorre en un instante todas las distancias. Varios individuos colocados en fila rectilínea y separados cien metros uno de otro, comprobarían, cada cual con su cronómetro, que habian percibido en momentos distintos la detonacion de un cañonazo disparado en el extremo de la línea, siendo el retraso notado por cada uno proporcional á la distancia que le separaba del cañon.

Por esta causa, si un batallon de soldados formados en círculo disparan los fusiles en el mismo instante, un observador situado en el centro oye todos los disparos como uno solo; mientras que si se colocan en fila, estando

aquel algo apartado en la misma línea, recibe la impresión de un ruido prolongado.

Del tiempo invertido por el sonido en recorrer el espacio depende también otro hecho fácil de apreciar: al marchar un regimiento por una calle larga, con la banda tocando á la cabeza, los soldados de las últimas compañías no llevan el paso igual con los de las primeras, porque las notas musicales no llegan simultáneamente al oído de unos y otros.

La manera como las vibraciones del cuerpo sonoro llegan á impresionar el oído, consiste esencialmente en que las oscilaciones de éste se comunican al aire que lo rodea.

Para facilitar la inteligencia de las modificaciones íntimas que el aire experimenta al transmitir el sonido, mencionaremos algunos hechos bien comprensibles, y muy análogos á los que se realizan en la trasmisión de las vibraciones sonoras.

Figurémonos varias personas sentadas en fila, al alcance unas de otras, y supongamos que la que ocupa un extremo envíe á la del opuesto un objeto cualquiera dándole á su inmediata, ésta á la que le sigue, y así sucesivamente: el objeto llegará á su destino sin que ninguna de las personas que han intervenido en la traslación haya abandonado su sitio, bastando que cada cual mueva solamente el brazo por su propia voluntad.

Imaginemos ahora una fila de diez ó doce niños en pié, apoyando cada uno las dos manos en los hombros del que le precede, y una silla colocada delante del último.

Si hallándose todos desprevenidos, se empuja bruscamente la espalda del primero, éste se inclina hácia delante empujando á su vez al segundo para reponerse, y por igual motivo cada uno de los sucesivos trasmite la impulsión de la misma manera á su inmediato, llegando así el efecto del empuje hasta el último; el cual, no teniendo en quien apoyarse, arrastra la silla delante de sí.

Es evidente que el individuo que empujó al primer niño ha conseguido mover la silla sin abandonar el lugar que ocupaba, no habiendo tampoco dejado el suyo nin-

guno de los niños, que solo han ejecutado un movimiento de vaiven para no caerse, por un acto instintivo.

Estudiemos un hecho parecido en que intervengan cuerpos inertes. Colóquense en línea recta sobre una mesa, tangentes una á otra, doce monedas de cinco céntimos y al cabo de la fila una peseta: si por un movimiento rápido de la mano se hace chocar otra moneda de cinco céntimos contra la primera de la série, enviándola desde la distancia de tres ó cuatro pulgadas en la misma direccion, la peseta sola es rechazada en el instante, sin que ninguna de las monedas de cobre intermedias se aparte de su primitiva posicion. Aquí se obtiene un resultado igual al de los casos anteriores; pero no es ya la voluntad de las personas, ni el movimiento instintivo de los niños, á quien se debe la trasmision del impulso, sino á una propiedad física del cobre, la *elasticidad*.

En el momento de chocar las dos monedas, la primera de la fila se deforma, su diámetro en la direccion del choque disminuye una cantidad imperceptible al par que aumenta en igual proporcion en el sentido perpendicular. En virtud de la tendencia de las moléculas del cobre á recuperar su anterior situacion, retrogradan instantáneamente hácia el lado opuesto; mas no se quedan desde luego en el punto que ocupaban, sino despues de sobrepujarlo en un espacio igual al que perdieron, resultando de aquí que la moneda se ensancha tanto como se habia contraido, produciendo sobre la segunda, y ésta por la misma causa sobre la tercera etc., idénticas modificaciones hasta llegar á la peseta, que no encontrando á quien transmitir su reaccion se aleja de las demás.

Esta experiencia se practica en los cursos de Física con una série de esferas de marfil, cuerpo muy elástico, pendientes de cordones, ó dispuestas entre dos reglas paralelas encima de una mesa.

Teniendo presentes estos hechos, es muy fácil entender cómo los movimientos vibratorios ejecutados por el cuerpo sonoro modifican las capas de aire, á través de las cuales se propaga el sonido.

Para mayor sencillez consideremos primero el caso

de la la propagacion por el interior de un tubo largo, cilíndrico y recto. Supongamos que el cuerpo vibrante está reemplazado por un círculo ó disco de carton, cuyo diámetro, un poco menor que el calibre del cilindro, le permite moverse alternativamente hácia dentro y hácia fuera. Imaginémoslo introducido en un extremo del tubo, á modo de tapon, y que por un medio cualquiera se le hace avanzar un corto trecho: es evidente que empujará delante de sí el aire que llena el tubo, y tambien se concibe que si aquel fuese un cuerpo sólido lo moveria en su totalidad, haciendo salir por el otro extremo un volúmen igual al espacio por él recorrido. Mas como el aire es muy compresible, la accion del disco solo alcanza á las capas gaseosas más próximas, y únicamente en ellas se verifica una reduccion de volúmen, dando lugar por lo tanto á un aumento de fuerza elástica. La porcion de aire comprimido, en virtud de su mayor tension, se rehace, y condensa á su vez delante de sí otro volúmen igual al suyo, repitiéndose este fenómeno sucesivamente en todo el aire encerrado en el tubo, que por partes iguales va comprimiéndose, y recuperando su anterior densidad en cuanto trasmite el impulso á la capa que le sigue.

Si se hace retroceder el disco hácia la boca del tubo un espacio igual al que avanzó, á contar de su primera posicion, el aire inmediato, al encontrar más capacidad, se dilata y enrarece en una parte igual á la que se condensó al ser empujado por el disco; mas como el enrarecimiento trae consigo una disminucion de fuerza elástica, la capa de aire inmediata, cuya tension no ha variado, experimenta la misma dilatacion mientras la precedente vuelve á su estado normal: de esta suerte va dilatándose consecutivamente por partes iguales toda la masa gaseosa.

Fácilmente se comprende que repitiendo el movimiento de vaiven del disco se enjendrarán en todo el trayecto del tubo séries alternativas de porciones iguales de aire condensado y dilatado, las cuales, sin variar de lugar, transmiten la impulsion de un extremo á otro.

Si en lugar del disco de carton, movido por una fuerza extraña se hiciera vibrar próxima á la boca del tubo una lámina de acero, sus oscilaciones, á la vez que producirian sonido, originarian en el aire interior iguales alternativas de condensacion y enrarecimiento, dando por resultado que se percibiera el sonido en el otro extremo.

Cada porcion de aire comprimido se llama *onda condensada*, y la inmediata siguiente é igual del mismo gas enrarecido recibe el nombre de *onda dilatada*; formando las dos juntas una *onda sonora*.

La onda sonora comprende, por consiguiente, la parte de aire modificada por una ida y vuelta del cuerpo vibrante; y la *longitud* de aquella está representada por el espesor de la onda condensada y de la dilatada reunidas, ó sea el espacio que el sonido recorre mientras dura una vibracion del cuerpo que lo produce.

Se acostumbra á representar gráficamente la onda sonora por una curva de esta forma , cuya mitad convexa hácia arriba indica la onda condensada y la otra mitad inversa la dilatada: la distancia de un extremo á otro de la curva, medida por una línea recta, expresa la longitud de la onda sonora completa.

## LECCION IX.

### PROPAGACION DE LAS ONDAS: VELOCIDAD DEL SONIDO.

Al vibrar un cuerpo al aire libre provoca en todos sentidos una série de ondas esféricas concéntricas, cuyos radios cada vez mayores, parten del punto que aquel ocupa, llamado por algunos *centro fónico*. Que esto sucede así, lo prueba el hecho de que el sonido llega al observador cualquiera que sea su situacion alrededor del cuerpo sonoro.

Si se deja caer una piedra en el centro de un estanque, engendra oleadas circulares, que principiando en la parte conmovida por aquella, crecen en diámetro con

perfecta regularidad: obsérvase tambien que la superficie presenta partes alternativamente convexas y cóncavas, inmóviles en direccion horizontal, pues fijando la atencion en cualquier cuerpo flotante sobre ellas, se percibe claramente que éste solo sube ó baja, sin avanzar ni retroceder.

Agitando simultáneamente varios puntos, se forma en derredor de cada uno un sistema igual de ondas que se cruzan en todas direcciones sin alterar su longitud ni su velocidad.

Este hecho tiene completa analogía con el que se realiza en el aire: las elevaciones y depresiones del agua representan las ondas condensadas y dilatadas, transmitiéndose la impulsión unas á otras; de modo, que con suponer que lo que en el agua acontece únicamente en el plano de su superficie, se verifica en el aire en todos sentidos al mismo tiempo, quedará comprendido el modo de propagacion de las ondas sonoras.

Es de notar que aun cuando la longitud de las ondas permanece constante, la masa de aire que cada una comprende crece en proporcion á su distancia del centro fónico; por consiguiente, la fuerza vibratoria de las moléculas gaseosas va disminuyendo gradualmente y debilitándose la intensidad del sonido.

El sonido, cualquiera que sea su origen, invierte un tiempo apreciable en llegar desde el cuerpo sonoro al oido del observador; pero este tiempo varía segun las condiciones del medio que lo trasmite.

La velocidad del sonido en el aire, ó sea el espacio que recorre en un segundo, fué averiguada definitivamente el año de 1822 por una comision del Observatorio de Paris, compuesta de los Sres. Prony, Arago, Humboldt, Gay-Lussac, Bouvard y Mathieu.

Al efecto se colocaron dos piezas de artillería, una en las alturas de Willejuif y otra próxima á la torre de Montlhery, distantes entre sí 18.613 metros. En cada estacion se instalaron tres de los comisionados, habiendo antes arreglado sus cronómetros á la misma hora, y convenido en que se hicieran disparos alternativamente

en una y otra parte con intervalos de diez minutos.

Cada observador anotaba el tiempo trascurrido desde que veía el fogonazo hasta que percibía el estampido del cañon, que era el que invertía el sonido en atravesar el espacio comprendido entre las dos estaciones; partiendo del supuesto que el fogonazo se apreciaba en el instante mismo de su produccion, por estar probado que el tiempo empleado por la luz en recorrer las distancias terrestres puede considerarse nulo.

Como término medio de todas las observaciones hechas, se obtuvo el número de 54 segundos y 6 décimas, y dividiendo por él los 18.613 metros, resultó ser 340 metros la velocidad del sonido en el aire, á la temperatura de diez y seis grados que reinaba cuando se verificaron las experiencias.

Este dato, que sirve de base á la teoría de los ecos y resonancias, tiene además curiosas aplicaciones; como la de calcular la distancia á que se encuentra una nube tempestuosa, contando los segundos que trascurren desde el momento en que se ve el relámpago hasta que se percibe el trueno, pues según lo dicho, dista del observador tantas veces 340 metros como segundos medien entre ambos fenómenos.

La velocidad es igual para los sonidos graves y los agudos, pero no es la misma en el aire que en los otros gases, y tanto en estos como en aquel decrece por el frio: á la temperatura del hielo fundente, ó sea 0 grados, solo alcanza en la atmósfera 333 metros, aumentando próximamente medio metro por cada grado de calor, de donde resulta que conocida la velocidad del sonido en un caso particular, se puede averiguar fácilmente la temperatura del aire.

VELOCIDAD DEL SONIDO Á 0° EN LOS GASES SIGUIENTES.

Acido carbónico . . . . .	261 metros.	Oxígeno. . . . .	317 metros.
Protóxido de azoe. . . . .	262 „	Oxido de carbono. . . . .	337 „
Gas oleificante . . . . .	314 „	Hidrógeno. . . . .	1269 „

Los Sres. Colladon y Sturme determinaron en 1827

la velocidad del sonido en el agua por medio de experiencias hechas en el lago de Ginebra. Las circunstancias del caso requerian alguna variacion en los detalles; pero el procedimiento fué idéntico en el fondo al empleado para el aire.

Las estaciones de observacion se establecieron en dos lanchas ancladas á la distancia de 13.500 metros una de otra. Mediante un sencillo mecanismo se hacia sonar desde una de ellas, en el seno del agua, una campana de bronce con el auxilio de un martillo, que al producir el choque inclinaba con el cabo una mecha sobre un monton de pólvora: la viva luz que entonces aparecia era vista en el acto por el observador que ocupaba la otra embarcacion, en cuya popa se hallaba fija una especie de bocina encorvada, con el pabellon cerrado por una piel y sumergido á la misma profundidad que la campana, mientras que la extremidad superior terminaba en una boquilla que el observador aplicaba al oido. Segun el cronómetro, no pasó de 9 segundos y 25 centésimas el tiempo de trasmision, por consiguiente la velocidad estaba representada por 1.435 metros, teniendo el agua la temperatura de 8 grados.

Los líquidos no transmiten todos con igual rapidez el sonido, y tanto en el agua como en el aire aumenta la velocidad con la elevacion de temperatura; habiéndose comprobado en el rio Sena que á 15°, 30° y 60°, eran respectivamente las velocidades 1.436<sup>m</sup>, 1.528<sup>m</sup> y 1.724<sup>m</sup>.

VELOCIDAD DEL SONIDO EN VARIOS LÍQUIDOS.

LIQUIDOS.	TEMPERATURA.	VELOCIDAD.
Eter sulfúrico .....	0°	1.161 metros.
Esencia de trementina.....	24°	1.212 „
Espíritu de vino.....	20°	1.286 „
Agua de rio.....	15°	1.436 „
Agua de mar.....	20°	1.453 „
Solucion de cloruro cálcico.....	23°	1.779 „

La velocidad del sonido es mucho mayor en los cuerpos sólidos. Aprovechando el fisico francés, Mr. Biot, la

circunstancia de estarse reparando en París las cañerías de conduccion del agua, practicó experiencias comparativas entre el aire y el hierro de los tubos, en un trayecto de 951 metros. Hizo para ello chocar un doble martillo al mismo tiempo con la extremidad del tubo y con un timbre situado en el eje de éste, deduciendo del tiempo que duró la trasmision de los dos sonidos que la velocidad en el hierro era diez veces mayor que en el aire.

Teóricamente se ha determinado la velocidad en muchos cuerpos sólidos, comprobándose al mismo tiempo que su estructura ó disposicion molecular la hacen variar en algunos de una manera muy notable, como puede verse en la siguiente tabla:

Plomo.....	1.228 metros.	Pino por capas..	794 metros.
Oro.....	1.742 „	Pino al través ..	1.405 „
Plata.....	2.707 „	Pino longitud. <sup>te</sup>	3.322 „
Cobre.....	3.555 „	Encina.....	3.847 „
Hierro en alamb. <sup>o</sup>	4.916 „	Olmo.....	4.119 „
Hierro en masas.	5.127 „	Sicemoro.....	4.462 „

## LECCION X.

### REFLEXION DEL SONIDO Y SUS EFECTOS.

Llámase *reflexion* del sonido el retroceso que las ondas sonoras experimentan cuando encuentran un obstáculo que les impide continuar su marcha.

No es indispensable que el obstáculo sea muy resistente, pues una nube, las velas de un barco, un grupo de árboles, pueden producir la reflexion lo mismo que una gruesa pared.

El rayo sonoro que vá desde el centro fónico al punto de encuentro de las ondas con la superficie reflejante se llama *rayo incidente*; la línea recta que marca la nueva direccion que aquel toma al retroceder recibe el nombre de *rayo reflejo*; y se denomina *normal* una perpendicular que se supone levantada en el punto de inciden-

cia ó de encuentro. La normal está situada, por consiguiente, entre el rayo incidente y el reflejo.

*Angulo de incidencia* es el formado por el rayo incidente con la normal, y *ángulo de reflexion* el que forma esta misma con el rayo reflejo.

La reflexion del sonido se halla sometida á estas dos leyes: 1.<sup>a</sup> *El ángulo de incidencia es igual al de reflexion.* 2.<sup>a</sup> *El rayo incidente, el reflejo y la normal se encuentran en el mismo plano, que es perpendicular á la superficie reflejante.*

Si suponemos que BA [Fig. 16] es el rayo incidente ó que procede del centro fónico; A el punto de incidencia; AC el rayo reflejo y AM la normal; BAM será el ángulo de incidencia y MAC el ángulo de reflexion, ambos iguales, pues las distancias MH y MF que median entre un punto de la normal y los dos rayos son idénticas.

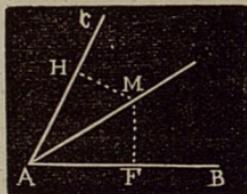


Fig. 16.

La reflexion de las ondas es semejante á la que se observa en las oleadas de la superficie de los líquidos, conmovida en un punto, cuando llegan á chocar con las paredes del recipiente; pero no puede hacerse visible de una manera directa en el aire.

Demuéstrase experimentalmente por medio de dos espejos de laton cóncavos, de superficie parabólica, que se colocan uno enfrente del otro á la distancia de cinco ó seis metros, de modo que sus centros estén en la misma línea. Estos espejos tienen la propiedad de reunir en un solo punto, llamado *foco*, todos los rayos sonoros que llegan paralelamente á reflejarse sobre ellos; de lo que resulta, que si el centro fónico se encuentra en el foco, los rayos que de éste parten salen paralelos despues de haberse reflejado en el espejo.

En virtud de estas circunstancias, las ondas emanadas de un cuerpo sonoro colocado en el foco de uno de los espejos, en vez de difundirse en todas direcciones, se reflejan sobre él y son enviadas en su mayor parte hácia el otro, el cual las acumula en el reducido espacio de su

foco respectivo donde el oído puede apreciar el notable refuerzo que de aquí resulta. La demostracion de este hecho se verifica poniendo un reloj de bolsillo en uno de los focos y aplicando al otro la oreja: óyense entonces los golpes del volante con tan perfecta claridad como si el reloj estuviera muy próximo.

Dos personas pueden sostener una conversacion en voz baja, á la distancia de diez ó doce metros, solo con que cada cual en su caso hable y ponga el oído en el sitio á que corresponden los focos.

Todas las superficies que reunen condiciones análogas á las de los espejos, como los arcos de algunos puentes, ciertas grutas, y no pocos techos total ó parcialmente cóncavos, producen el mismo resultado.

En el Conservatorio de Artes y oficios de París existe un vestíbulo abovedado que ofrece esta particularidad. El Observatorio de la misma capital tiene una sala exagonal en cuyos ángulos opuestos enfocan los rayos sonoros de igual modo que en los espejos acústicos.

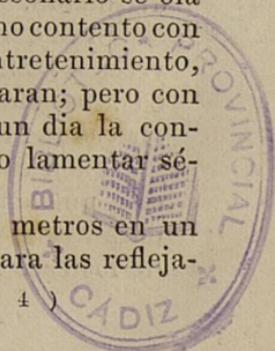
Los espacios cerrados donde se observan fenómenos de esta naturaleza han recibido el nombre de *salas parlantes*, ó *salas de secretos*.

Merecen tambien especial mencion por esta circunstancia la gruta llamada *Oreja de Denys*, cerca de Syracuse; uno de los salones de la Alhambra; la catedral de Girgenti; una galería de Gloucester y la iglesia de San Pablo de Lóndres.

Al tratar de la reflexion cita Herschel un chistoso lance ocurrido en un templo de Italia á un feligrés, más curioso que prudente. Habia descubierto por casualidad que en cierto sitio apartado de un confesonario se oia distintamente lo que en este se hablaba, y no contento con disfrutar á su placer de tan poco digno entretenimiento, invitó á varios amigos á que le acompañaran; pero con tan mala suerte, que todos escucharon un dia la confesion de su misma mujer, lo cual le hizo lamentar seriamente su imprevista conducta.

La velocidad de las ondas es de 340 metros en un segundo, tanto para las directas como para las refleja-

( 4 )



das, de lo cual resulta que si una persona dispara un pistoletazo á 170 metros de una pared, á más de oír el ruido en el acto mismo, puede percibirlo de nuevo al cabo de un segundo, á causa de ser éste el tiempo invertido por las ondas en recorrer dos veces los 170 metros en sentidos opuestos.

La repetición del sonido por efecto de la reflexión de las ondas sonoras sobre un obstáculo más ó ménos lejano, se llama *eco*.

Con referencia á las palabras se dividen los ecos en *mono-silábicos*, *bi-silábicos*, *tri-silábicos*, etc., segun que repiten una, dos, ó tres sílabas; y atendiendo á que cada eco puede reproducirse una, dos, ó más veces, reciben en este concepto los nombres de *doble*, *triple*, *cuádruple*, etc.

El número de sílabas que por la reflexión se repiten depende de la distancia que separa al observador de la superficie reflejante. La experiencia prueba que no es inteligible una palabra pronunciada con tal rapidez que se emitan más de cinco sílabas en un segundo, es decir, que para que cada una de éstas no se confunda con las demás es preciso que se invierta en pronunciarla una quinta parte de segundo, cuando ménos.

En virtud de esta circunstancia, si se pronuncia en voz alta una palabra á 34 metros de cualquier cuerpo capaz de reflejar las ondas convenientemente, éstas recorrerán 68 metros en su doble marcha del observador al cuerpo y viceversa; y como este número es la quinta parte de 340 metros, ó sea el espacio recorrido en un segundo, solo el eco de la última sílaba se percibirá con distinción.

Si la distancia al obstáculo fuese dos, tres ó cuatro veces 34 metros, el eco repetiría igual número de sílabas: los ruidos, por su corta duración, pueden producir eco á 17 ó 18 metros.

Fácil es comprender que las ondas, una vez reflejadas, pueden tropezar con nuevos obstáculos, los cuales darán origen á otras tantas reflexiones: esta es la causa de los ecos múltiples, ya sean mono-silábicos ó poli-si-

lábicos. Es frecuente observar ecos de esta clase bajo los arcos de los grandes puentes, sobre todo de los colgantes.

A continuacion van indicados los ecos que han alcanzado mayor notoriedad.

El del castillo de Simonetta, en Italia, que se produce entre las fachadas paralelas de dos cuerpos de edificio, repite de cuarenta á cincuenta veces el ruido de un pistoletazo.

Cerca de Coblenz se observa otro que llega á repetir diez y siete veces una palabra.

El de Woodstock-Park, mencionado por Robert Plot, que reproduce un sonido diez y siete veces durante el día y veinte durante la noche.

A tres leguas de Verdun, entre dos torres que distan cincuenta metros, se ha comprobado la existencia de otro que repite doce ó trece veces un mismo sonido.

Descuella sobre todos el de la tumba de Metella, citado por Gassendi, que relataba ocho veces un verso entero de la Eneida.

Para que pueda formarse una idea más aproximada de esta especie de loro fantástico, sustituimos á uno de los hexámetros de Virgilio el primer verso del *Canto del Cosaco* de Espronceda, aunque en realidad tiene menos sílabas.

¡Hurra! cosacos del desierto! ¡Hurra!

El conjunto de palabras formado por las ocho repeticiones constituiria una pequeña arenga vagando á diestro y siniestro por los aires.

Cuando la distancia del centro fónico á la superficie de reflexion es menor de 18 metros, el sonido reflejo se sobrepone al directo, produciendo lo que se llama *resonancia*. Esta por lo comun refuerza los sonidos, pero si pasa de ciertos límites los hace notoriamente confusos: así acontece en los grandes salones y con especialidad en las iglesias.

A la resonancia es debido que la voz se oiga mejor en el interior de las casas que al aire libre, ella produce

el estrépito que se nota al pasar los trenes por debajo de los puentes, dependiendo de la misma causa la claridad con que se entienden los marineros de una á otra orilla de los rios, hablando muy cerca del agua.

La lisura ó igualdad de las superficies influye muy eficazmente en la resonancia, como lo deja comprender el hecho siguiente. En Carisbrook, isla de Wight, existe un pozo de 70 metros de profundidad y 4 de diámetro cuyas paredes son perfectamente lisas: dejando caer en él un alfiler, se oye muy bien desde la boca el ruido que produce al chocar con el agua.

M. Tyndall llama la atención sobre otro hecho no ménos notable. El simple acto de rasgar un papel dentro del Colosseum de Londres, que tiene 43 metros de diámetro, engendra un ruido parecido al de una granizada.

Los cuerpos blandos muy movibles, como las cortinas ó colgaduras, amortiguan los sonidos, porque en vez de rechazar las ondas ceden más ó ménos á su impulso, haciendo las habitaciones *sordas*. Por el contrario, si las paredes están revestidas de materias elásticas capaces de entrar en vibracion, la intensidad del sonido aumenta á la vez que se modifica su timbre: de esto resultan las extrañas variaciones que se notan en algunos ecos múltiples.

La *bocina*, que segun Kircher fué conocida por Aristóteles, y empleada por Alejandro Magno para mandar su ejército, es un instrumento frecuentemente usado por los marinos para transmitir la palabra á gran distancia y para hacerse oír á bordo durante las tempestades.

Consiste en un tubo metálico, algo cónico, de la longitud de un metro por término medio, con una extremidad ensanchada en forma de embudo, llamada *pabellon*, y la opuesta configurada de modo que pueda ajustarse á los labios sin entorpecer sus movimientos. El efecto que con la bocina se obtiene es debido, segun Hassenfratz, al refuerzo que la columna de aire que encierra hace experimentar á la voz, influyendo en ello muy principalmente el pabellon.

Las *trompetillas acústicas* de que se valen los sordos para oír mejor, tienen formas muy diversas, pero todas se reducen á un conducto terminado por un extremo en un tubo apezonado que se introduce en el oído, y provisto en el otro de un pabellón al que aproxima la boca el que habla: su objeto es encauzar la mayor porción posible de ondas en la dirección del conducto auditivo.

El *audífono*, inventado en 1879 por Richard S. Rhodes, de Chicago, es un instrumento que suple á las trompetillas, y según las pruebas hechas en New-York y en Madrid parece ser útil hasta para los sordo-mudos. Los efectos que con él se obtienen dependen á la vez de la reflexión en superficies curvas y de la conductibilidad sonora de los huesos de la cara.

En su conjunto ofrece la apariencia de una pantalla: está compuesto de un pié, al cual va fija una lámina casi rectangular de caoutchouc endurecido, de unos 20 centímetros de lado, que puede encorvarse á voluntad mediante un cordón que se sujeta en el mango. El grado de curvatura conveniente para cada individuo es preciso que él mismo lo determine por tanteo, y una vez arreglado, la manera de usarlo consiste en cogerlo por el pié como un abanico y aplicar el borde superior de la lámina á los dientes incisivos de la mandíbula superior.

El doble audífono para uso de los sordo-mudos consta de dos láminas desiguales que forman al encorvarse dos superficies no paralelas.

El precio bastante alto que el inventor ha puesto á sus audífonos, hará difícil que se generalice su uso, con tanto más motivo cuanto que es posible construirlos á poco costo de cartón común y hasta sin mango.

---

## LECCION XI.

### REFRACCION, INFLEXION É INTERFERENCIA DEL SONIDO.

Al pasar las ondas sonoras de un medio elástico á otro en el cual no pueden propagarse con la velocidad que traian, el rayo sonoro se desvia de su direccion primera en el momento de atravesar el plano de separacion de ambos medios; aproximándose á la normal levantada sobre dicho plano si la velocidad es mayor en el segundo medio, y separándose de ella en el caso contrario.

El cambio de marcha, sin retroceso, que las ondas sufren en este caso, se llama *refraccion*.

Hajech comprobó directamente la refraccion del sonido valiéndose de un tubo de 8 centímetros de diámetro, cerrado en sus extremos por membranas delgadas, lleno de un líquido ó de un gas, é introducido en la pared que separaba dos habitaciones contiguas. Al extremo correspondiente á una de éstas ajustó otro tubo lleno de aire y terminado por una cajita que contenia un timbre movido por una máquina de reloj.

Colocado Hajech en la habitacion inmediata, despues de haber tomado todo género de precauciones para asegurarse de que el sonido solo podia pasar á través del tubo, determinó la inclinacion de los rayos sonoros fijando los puntos en que se veia precisado á colocar el oido para percibir mejor el repique del timbre. De este modo pudo establecer que la desviacion dependia de la relacion entre la velocidad del sonido en el aire y en el fluido contenido en el tubo adicional; como tambien que no ejercian influencia alguna en el fenómeno la longitud de los tubos, ni la naturaleza de las membranas. Los gases que empleó en sus experiencias fueron el hidrógeno, ácido carbónico, amoniaco, hidrógeno bicarbonado y ácido sulfuroso; y los líquidos el agua de fuente y la del mar.

Sondhauss usó para el mismo objeto un procedimiento distinto. Con dos casquetes de colodion pegados á un bastidor circular formó una lente de 30 centímetros de diámetro y 12 de espesor en su centro, llenando de ácido carbónico la capacidad que resultaba. Colocó un reloj á un lado de la lente en la línea de su centro, y aplicando el oído al otro lado, notó que los golpes del volante solo se percibian con claridad en la prolongacion de dicha línea y á una distancia determinada; lo cual probaba que las ondas sonoras, despues de atravesar la lente concurrían en un punto, es decir, que variaban de direccion ó se refractaban.

El estetoscopio de Kœnig, instrumento de aplicacion á la medicina, debe en gran parte su efecto á una lente de caoutchouc llena de aire, enlazada con un tubo de la misma materia que hace veces de cornete acústico.

Aunque se aplica casi exclusivamente á la exploracion de los ruidos que se producen en las cavidades torácica y abdominal, pudiera usarse para otro género de investigaciones fuera del dominio de la patología.

Cuando las ondas, en su movimiento progresivo, tropiezan con cuerpos de gran masa, ó poco elásticos, se produce detrás de estos un efecto parecido al que acontece con la luz al ser interceptada por una pantalla. Del mismo modo que esta deja en pos de sí un espacio oscuro, los cuerpos no elásticos proyectan al otro lado una zona ó region *silenciosa*, en la que el sonido se extingue más ó ménos completamente, constituyendo lo que por analogía se ha llamado *sombra sonora*.

Las múltiples y variadas reflexiones que las ondas experimentan en los objetos circunvecinos hacen generalmente que la sombra sonora no sea completa, contribuyendo mucho á ello que las ondas rodean lateralmente el contorno de los cuerpos como las olas del mar á las rocas que encuentran al paso.

Esto último constituye la *inflexion del sonido*, bien comprobada por varios hechos, especialmente por uno que en su apoyo cita M. Tyndall.

En 1864 ocurrió la explosion de un polvorin situado

cerca de Erith: casi todos los cristales de las ventanas de este pueblo saltaron en pedazos, siendo de notar que las que correspondian á fachadas opuestas al sitio de la explosion sufrieron tanto como las otras. Las vidrieras de la iglesia, fijas y con los cristales sujetos mediante flexibles láminas de plomo, apenas experimentaron fracturas; pero en cambio pudo verse que así las que miraban frente á Erith como las del lado contrario, estaban hundidas hácia el interior, lo cual suponía que las ondas habian costeadado el contorno del edificio puesto que debieron ejercer presion de fuera á dentro.

Se dá el nombre de *interferencia* al efecto que resulta al encontrarse dos séries de ondas sonoras procedentes, directa ó indirectamente, del mismo centro fónico.

Recordando la analogía que en su propagacion ofrecen las ondas con las oleadas de los líquidos agitados, sin dificultad se comprende que al encontrarse aquellas de manera que se confundan las porciones condensadas y las dilatadas, su accion combinada reforzará el sonido en el punto donde tenga lugar la coincidencia. Mas si se encuentran en distinta fase del movimiento, es decir, si tropieza una onda condensada con otra dilatada, se destruirá la vibracion, produciéndose en aquel sitio el silencio: en este caso se realiza la verdadera interferencia.

Savart pudo apreciar los efectos de la interferencia entre las ondas directas y las reflejadas por una pared sin mas que aplicar, por tanteo, el oido en diferentes puntos delante de ella. Seebeck, siguiendo el mismo procedimiento, hizo la exploracion de los puntos interferentes valiéndose del péndulo que hemos llamado de membrana.

Despretz fué el primero que ideó un medio práctico para producir dos sistemas simultáneos é idénticos de ondas. Para ello hizo sonar con un fuelle de corriente constante dos silbatos iguales colocados paralelamente, y mediante una membrana cubierta de arena que colocó equidistante de ambos, comprobó las vibraciones comunicadas al aire: desviándola más ó ménos en direccion

lateral, vió á la arena saltar y quedar en reposo alternativamente, segun que la distancia á los silbatos era igual á un número par ó impar de semi-longitudes de la onda sonora.

M. Desains dió otra forma al mismo experimento. En el fondo de una caja prismática de madera, cuyas caras interiores estaban revestidas de algodón, ajustó un silbato que funcionaba por medio del fuelle acústico.

Las ondas sonoras producidas por la vibracion del instrumento, salian al mismo tiempo de la caja por dos aberturas practicadas en la tapa superior y colocadas simétricamente respecto á él. De este modo se engendrabán en el aire exterior dos sistemas de ondas directas de la misma tonalidad, que podian considerarse como emanadas cada cual de una abertura. Aproximando ó alejando de la caja, en direccion vertical, una membrana polvoreada con arena, daba iguales resultados que en la experiencia de Despretz.

M. Lissajous demostró la interferencia de diferente manera. Frotaba con un arco de violin el borde de una placa circular de cobre sujeta á un pié por su centro, procurando obtener una nota musical determinada. Al mismo tiempo hacia girar más ó ménos un círculo de carton que estaba montado sobre un eje en el mismo pié y dividido en diez sectores iguales; alternativamente macizos y recortados, con lo cual conseguia reforzar ó debilitar el sonido segun las posiciones de los sectores. Este resultado depende del modo especial con que vibran las placas, que se explicará mas adelante.

M. Wheatstone produjo la interferencia del sonido valiéndose de la propiedad que poseen las columnas de aire encerradas en tubos de reforzar en su extremidad ciertos sonidos, entrando ellas mismas en vibracion.

Herschel propuso dividir una corriente de aire en vibracion en dos de diferente longitud y reunir las despues para hacerlas interferir.

Con arreglo á este principio se ha construido un aparato notable por su sencillez, del que se vale M. Tyn-dall para demostrar el fenómeno de la interferencia.

Compónese de un tubo de laton encorvado de manera que su conjunto representa una cruz, cuyos brazos mayores tienen exactamente la figura de las varas de un trombon, y uno de ellos puede acortarse ó alargarse á voluntad como en el citado instrumento: las otras dos ramas son de igual figura, aunque más cortas, y llevan cada una en el centro de la porcion curva un pequeño tubo abierto por su extremidad libre. Unicamente por estas dos aberturas comunica el aparato con el aire exterior, de suerte que si se sopla por una de ellas, la corriente gaseosa recorre todo el trayecto del tubo y sale por la otra. Colocado el aparato sobre una mesa, se hace sonar un diapason cerca de una de las aberturas y se aproxima el oido á la opuesta: cuando las dos ramas mayores tienen la misma longitud y por consiguiente han recorrido las ondas por uno y otro lado igual camino, el diapason se oye bien; pero alargando gradualmente la rama movable, llega un momento en que el sonido se extingue por completo á causa de la interferencia.

Dos tubos de órgano que den simultáneamente la misma nota, estando separados por una distancia menor que la mitad de la longitud de una ondulacion, producen ménos efecto que uno solo. Lo mismo puede acontecer con dos instrumentos de cuerda si se hallan demasiado próximos en una orquesta.

## LECCION XII.

### VALUACION NUMÉRICA DE LAS VIBRACIONES: MÉTODO ACÚSTICO.

La rapidez del movimiento vibratorio en los cuerpos sonoros hace de todo punto imposible que se puedan contar directamente las vibraciones; sin embargo, se han ideado medios á cual más ingeniosos que permiten determinar su número con toda la exactitud apetecible.

Cuatro métodos fundamentalmente distintos se emplean para conseguirlo. El *acústico*, el *gráfico*, el *óptico*

y el de las *llamas manométricas*. Con todos ellos se investiga el número de vibraciones que el cuerpo sonoro efectúa en un segundo de tiempo.

En el método acústico se determinan las vibraciones de un sonido contando por medio de aparatos á propósito las de otro que se pone al unísono con él, comprobando por el oído la identidad de tono de ambos. Comprende dos procedimientos: el de la *rueda dentada de Savart* y el de la *Sirena*.

En el primero de estos, más sencillo aunque ménos exacto, se emplea un aparato constituido por un banco de madera donde van montadas dos ruedas, una de gran diámetro que se hace girar con un manubrio, y vá enlazada, mediante una correa que se adapta á su circunferencia, con el eje de otra más pequeña provista de dientes. Estos chocan durante el movimiento con un naipe que se fija en el extremo del banco, en el cual hay también un contador cuya aguja marca el número de vueltas de la rueda dentada. Al girar la rueda mayor transmite un movimiento rápido á la pequeña y el choque de cada diente con el naipe produce una vibración, engendrándose sonidos tanto mas agudos cuanto mayor sea la velocidad. Regulando esta convenientemente se llega á obtener un sonido al unísono con el que se explora, que se procura mantener sin variación por dos ó tres minutos contados en un reloj. Multiplicando el número de dientes de la rueda por el de vueltas que marque el contador y dividiendo este producto por el de segundos que haya durado la experiencia, se obtienen las vibraciones que corresponden á un segundo.

Es evidente que siendo el sonido producido por el naipe igual al que se trata de analizar, el número de vibraciones debe ser en ambos necesariamente el mismo.

La *Sirena acústica* es un pequeño aparato inventado por M. Cagniard Latour, con el cual se miden mas exactamente que con la rueda de Savart las vibraciones de cualquier cuerpo sonoro en un tiempo dado: se le dió el nombre de *Sirena*, porque funciona dentro del agua lo mismo que en el aire.

La Sirena es toda de laton, y consta de tres partes muy sencillas é ingeniosamente combinadas para obtener el resultado que se desea. La inferior consiste en una caja cilíndrica, con un tubo corto en el centro del fondo, que le sirve de pie y da paso al aire cuando se monta en el fuelle acústico: la tapa superior de esta cajita lleva un número variable de agujeros dispuestos circularmente, y por lo tanto equidistantes del centro.

Dos piezas verticales, fijas al borde de la caja en los extremos de un diámetro, sostienen el contador compuesto de dos ruedas de cien dientes cada una, cuyos ejes mueven dos agujas que marcan las vueltas en sus correspondientes esferas á modo de relojes. Estas dos partes van enlazadas por un vástago de acero que sirve de eje á un disco situado muy cerca de su extremo inferior, y por consiguiente casi tocando con la tapa perforada de la caja de viento: las extremidades del vástago tienen su centro de rotacion, por abajo en el punto medio de la tapa y por arriba en la parte alta del bastidor que sostiene los contadores. A la altura de las ruedas, para engranar con una de ellas, tiene el vástago una porcion configurada como tornillo ó barrena entre cuyos bordes entran los dientes, haciéndola girar de modo que avanza uno de éstos por cada vuelta de aquel: el disco movible lleva el mismo número de agujeros que la tapa fija, siendo éstos de igual diámetro y dispuestos de idéntica manera.

Resulta de aquí que cuando se hallan unos frente á otros, el aire de la caja atraviesa libremente el conducto que forman; pero en el momento que la parte maciza del disco corresponde á los orificios de la tapa, la corriente gaseosa se interrumpe; y como por efecto de la rotacion de éste se suceden continuamente estas alternativas, resulta una série de ondas dilatadas y condensadas. El disco, pues, al girar produce en el aire tantas vibraciones completas como veces se corresponden sus agujeros con los de la tapa, y por cada vuelta que dá hace el tornillo del vástago adelantar un diente á la rueda con que engrana.

El movimiento del disco y la marcha combinada de las agujas del contador, se producen de una manera muy sencilla. El primero resulta de la corriente misma del aire mientras atraviesa sucesivamente los taladros de la tapa y del disco, por estar estos practicados en una y otro oblicuamente y en direccion contraria, formando ángulo agudo. En cuanto al movimiento de las ruedas, una es impulsada por el tornillo y la otra por un tope fijo en el eje de su compañera que empuja un diente por cada vuelta: de este modo una aguja señala las vueltas del disco y la otra los cientos de vueltas.

Solo resta añadir que se pueden ajustar ó separar instantáneamente el tornillo y la rueda empujando unos botones colocados en los lados opuestos del bastidor.

Para determinar con la Sirena el número de vibraciones de un sonido, se empieza por colocarla en la caja de viento del fuelle acústico, estando desajustada la rueda del contador: inmediatamente gira el disco, produciendo un sonido gradualmente mas alto á medida que crece la velocidad de rotacion. Cuando el observador se cerciora que está ya al unísono con el sonido cuyo número de vibraciones se busca, gradua la presion del fuelle, coloca las agujas del contador en el cero, ajusta la rueda al tornillo sin fin y observa en un cronómetro el momento en que hizo el ajuste. Pasados dos ó tres minutos, suponiendo que no haya notado desafinacion entre los dos sonidos, desajusta el contador y mira en el cronómetro el tiempo transcurrido.

El cálculo para averiguar las vibraciones dobles que corresponden por cada segundo al sonido en cuestion, se hace multiplicando el número de vueltas que marquen las agujas del contador por el de agujeros que tenga el disco, y dividiendo el producto por el total de *segundos* transcurridos mientras estuvo ajustada la rueda.

M. Dove, de Berlin, ha hecho en la Sirena de Cagniard Latour importantes modificaciones.

*El fuelle acústico*, empleado para hacer funcionar uno ó varios instrumentos de viento á la vez, se compone de una mesa de dimensiones ordinarias con una

tabla fija entre los cuatro piés, á la altura que suelen tenerla las llamadas de tocador. Debajo de ésta hay un fuelle que, movido por un pedal, impulsa el aire á un depósito rectangular de paredes flexibles situado encima, sobre el cual van clavadas dos planchas de plomo que sirven para comprimir el aire, así como una larga varilla implantada en el centro para apoyar la mano sobre ella cuando se necesita una corriente más activa. El aire pasa por un conducto vertical desde el depósito á un cajon prismático dispuesto segun la longitud de la mesa, cuya cubierta tiene varias perforaciones donde se adaptan los instrumentos que se quiere hacer sonar. Cada agujero lleva interiormente un tapon con resorte que se mueve para dejar paso al viento por un mecanismo parecido al de las teclas del órgano.

El pequeño *fuelle de presion constante* inventado por M. Cavallé-Coll, debe considerarse como un accesorio del que acabamos de describir, indispensable para las experiencias de precision; pues interponiéndolo entre la caja de viento y los instrumentos ó aparatos que han de funcionar, regula automáticamente la corriente del aire que á éstos llega con toda la exactitud necesaria.

El oido humano carece de aptitud para ser impresionado por las vibraciones de los cuerpos elásticos cuando éstas salen de ciertos límites.

Savart creyó erróneamente que los sonidos más graves susceptibles de ser apreciados, correspondian á ocho vibraciones dobles por segundo, y los más agudos á veinte y cuatro mil; pero de las experiencias hechas con mayor precision por MM. Despretz y Helmholtz, resulta probado que deben adoptarse los números de *diez y seis* vibraciones como límite inferior, y *treinta y ocho mil* como límite superior: esto no quiere decir que dejen de existir sonidos más agudos, puesto que se construyen diapasones capaces de producirlos hasta de setenta y tres mil vibraciones por segundo.

Es muy notable la diferencia que se observa de unos individuos á otros en cuanto á la disposicion para percibir los sonidos extremos, sobre todo los agudos. Re-

firiéndose á Wollaston y Herschel, cita Tyndall casos curiosos en comprobacion de este hecho: una persona oia hasta el punto de molestarle el sonido de un pito, estando al lado de otra que, sin ser sorda, no percibia absolutamente nada.

Hay quien no alcanza á oir las piadas agudas del gorrion, que próximamente corresponden en tono á la cuarta octava del *mi* medio del piano, muchos no sienten los chillidos del murciélago que son una octava más altos; mientras que para la mayoría es harto sensible y mortificante el zumbido de varios insectos que tiene todavía una octava más de altura.

### LECCION XIII.

#### DETERMINACION DE LAS VIBRACIONES POR EL MÉTODO GRÁFICO.

La determinacion del número absoluto de vibraciones verificada por el método acústico, está expuesta á errores de alguna consideracion, nacidos de la dificultad de mantener invariable el sonido producido por la Sirena ó la rueda de Savart, de la falta de exactitud al observar los contadores, y de la desafinacion entre el sonido que se estudia y el producido por aquellos aparatos.

El *método gráfico*, así llamado porque los cuerpos sonoros escriben sobre una superficie adecuada sus propias vibraciones, al par que sencillo es mas exacto.

Para dar idea de su fundamento supongamos que se raya con el lápiz una pizarra, llevando la mano en una sola direccion; claro es que resultará una línea recta. Pero si se repite el hecho haciendo temblar la mano, se obtendrá una línea quebrada, cuyas porciones representan en longitud y direccion cada uno de los movimientos parciales que el lápiz recibió de la mano. Tan difícil como es apreciar directamente el número de sacudidas de ésta, tan fácil es contar el de los trazos que se han obtenido.

Sabido es que las vibraciones sonoras consisten en rápidas sacudidas, por consiguiente, si se aplica al cuerpo que suena un pequeño estilete ó punzoncito de poca masa, cuya punta pueda rozar con una plancha convenientemente preparada y en movimiento, obtendremos un registro donde todas ellas consten de una manera permanente.

La idea del método gráfico es debida á Young, y su aplicacion á M. Marloye que construyó, siguiendo las indicaciones de Duhamel, el primer instrumento para realizarla científicamente.

Este instrumento llamado *vibróscopo*, cuya forma es hoy algo distinta de la primitiva, se compone de una varilla de acero fija horizontalmente sobre un pié de madera, que lleva en el extremo un punterito de laton ó de cañon de pluma. A una distancia tal que éste roce ligeramente con su superficie, se sitúa un cilindro móvil alrededor de un eje horizontal, terminado por un manubrio y montado á la manera de los tostadores de café, sin más diferencia que al girar avanza tambien en la direccion del eje, con el fin de que en las vueltas sucesivas no se sobrepongan las señales que el puntero va trazando.

Adaptando al cilindro una hoja de papel ahumado, se hace vibrar la varilla, frotándola con un arco de violin, y se dá vueltas al manubrio: el puntero marca sobre el papel una línea ondulada, cuyo número de sinusidades representa el de vibraciones dobles. Observando en un reloj el tiempo que ha durado el movimiento, se divide el total de sinusidades por los segundos que resulten y el cociente expresa las vibraciones correspondientes á un segundo.

Si se quiere conservar el papel sin que se borre el trazado, basta sumergirlo en éter ó en alcohol y dejarlo secar, dándole despues un baño de agua con albúmina, ó de sandaraca disuelta en alcohol: en esta disposicion puede con toda comodidad estudiarse en cualquier tiempo el resultado de las experiencias.

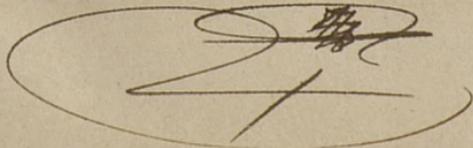
Empleando el método de M. Wertheim, no es nece-

sario observar el reloj. Al mismo tiempo que el cuerpo sonoro inscribe sus vibraciones, se hace que un diapason del cual se conozcan las que produce por segundo, marque tambien las suyas en una línea paralela: contando despues los trazos contenidos en la misma extension de ambas séries, se tienen los datos para establecer una proporcion que conduce á un resultado exacto.

Se construye otra especie de vibróscopo sin cilindro, que sirve para comparar el número de vibraciones de varias notas musicales. Cuatro diapasones que dan las notas *do, mi, sol, do*, por ejemplo, con las ramas dirigidas hácia abajo, van sujetos á una pieza de madera que une la parte superior de dos pies verticales de forma prismática con una ranura longitudinal en su parte interna por donde pueden correr holgadamente láminas de cristal ahumadas por una de sus caras: cada diapason lleva un pequeño estilete en direccion perpendicular á las ramas, ó sea horizontal. Introduciendo por arriba en las dos ranuras los cristales ahumados y dejándolos caer, rozan con los estiletos, resultando cuatro rectas paralelas cuando estos no vibran, y cuatro curvas sinuosas si se hacen sonar de antemano: obsérvase de este modo que el número de sinuosidades crece en proporcion á la altura de los sonidos.

Los vibróscopos no pueden inscribir las vibraciones producidas por los instrumentos de viento, ni por las voces. Para fijarlas en estos casos se emplea el *fonautógrafo*, ideado por L. Scott y construido con gran perfeccion por M. Kænig.

Compónese este aparato de una especie de barril de yeso ó de metal, de 50 centímetros de longitud por 30 de diámetro, abierto completamente por una extremidad y montado sobre un pié al modo de los cañones sobre su cureña, de suerte que puede inclinarse más ó ménos segun convenga. En el centro del fondo tiene una perforacion circular á la que se adapta un tubo cerrado por una lámina delgada de caoutchouc, de colodion, ó bien por un trozo de vejiga que puede estirarse á voluntad mediante un sencillo mecanismo. Con cera se



pega á esta membrana un pincelito de cerdas de jabalí, ó de barbas de pluma, destinado á señalar las vibraciones en el papel ahumado con que se cubre un cilindro igual al del vibrómetro y dispuesto de un modo análogo.

Cantando, ó tocando un instrumento cerca de la boca de aquel recipiente mientras gira el cilindro, quedan inmediatamente insertas sobre el papel las vibraciones transmitidas por el aire á la membrana, de idéntica manera que en el aparato de Marloye.

Por medio de los procedimientos gráficos se prueba de una manera concluyente:

1.º Que las vibraciones cuya amplitud no pasa de ciertos límites son isócronas, es decir, que se verifican en el mismo tiempo.

2.º Que los sonidos son tanto mas agudos cuanto mayor es el número de vibraciones que les corresponden.

3.º Que los sonidos unísonos son producidos por igual número de vibraciones.

4.º Que un sonido cuyo valor musical sea la octava aguda de otro, supone doble rapidez en el movimiento vibratorio del cuerpo que lo produce.

## LECCION XIV.

### MÉTODO OPTICO: COMPOSICION ÓPTICA DE LOS MOVIMIENTOS VIBRATORIOS: LLAMAS MANOMÉTRICAS.

Es un hecho tan conocido y trivial que la percepcion de los sonidos se verifica por el oido, que raya en lo inverosímil suponer que aquellos puedan apreciarse por medio de la vista. Sin embargo, M. Wheatstone demostró hace más de cincuenta años con su *caleidófono* la posibilidad de conseguir que las vibraciones sonoras impresionasen el órgano de la vision.

Consistía el aparato á que aplicó dicho nombre en una coleccion de varillas rectangulares de metal, fijas por un extremo, y terminadas por el otro en una esferita bruñida que se iluminaba fuertemente con una lámpara.

Haciéndolas vibrar por percusion, las esferas producen ráfagas luminosas bajo el aspecto de líneas curvas, cuya figura variaba con los cambios de vibracion.

M. Lissajous ha desarrollado con gran acierto la idea concebida por Wheatstone, creando el *método óptico*, que permite, *sin que intervenga para nada el oído*, comparar los sonidos y averiguar la relacion de su número de vibraciones por medio de curvas luminosas que caracterizan perfectamente el acorde, la octava, la tercera, la cuarta, la quinta, las disonancias, las pulsaciones y los sonidos que de ellas resultan.

El método óptico se apoya sobre dos hechos que la Física demuestra. 1.º Las impresiones se prolongan por algun tiempo despues que la luz ha cesado de obrar sobre el ojo; como lo prueba el hecho de que un carbon encendido traza en el espacio una circunferencia de fuego si se hace girar rápidamente alrededor de un punto. 2.º Cuando se inclina un espejo sobre el cual se refleja un rayo luminoso fijo, al reflejarse ofrece éste una desviacion angular doble de la del espejo.

Para comprender mejor en sus detalles el procedimiento de M. Lissajous, imagínese un pequeño haz de luz solar que despues de atravesar una habitacion oscura, caiga sobre un espejito pegado al extremo de una de las ramas de un diapason, y que aquel lo refleje sobre otro espejo independiente, dispuesto de modo que á su vez lo proyecte en una pantalla: aparecerá en ésta la imágen del Sol en forma de un circulito luminoso. Mientras los espejos no se muevan, la imágen permanecerá tambien inmóvil; pero si se hace sonar el diapason, la imágen oscilará en sentido vertical, y por efecto de la persistencia de las impresiones visuales se verá en la pantalla una línea vertical: si estando el diapason en reposo se hace girar el espejo sobre su eje, la imágen se moverá en direccion horizontal. Por una consecuencia forzosa, cuando vibra el diapason al mismo tiempo que gira el espejo se presenta en la pantalla una curva ondulada, en la cual cada sinuosidad corresponde á una vibracion del diapason.

Supóngase que el espejo libre es sustituido por otro fijo en un segundo diapason situado en direccion perpendicular al primero, y resultará el aparato con que el citado físico llegó á realizar la composicion óptica de los movimientos vibratorios rectangulares.

Empleando una lámpara á propósito como foco de luz, y estando dispuestos los diapasones convenientemente; si se hace vibrar el horizontal la imágen sufrirá en igual sentido un desvío alternativo ú oscilatorio, semejante al que producía la rotacion del espejo libre, viéndose en la pantalla, ó directamente por medio de un antejo, una ráfaga luminosa cuya longitud decrece á medida que disminuye la amplitud de las vibraciones.

Haciendo vibrar simultáneamente los dos diapasones, la imágen, animada de dos movimientos perpendiculares, tomará en cada momento una direccion intermedia, lo cual dará origen á una curva, cuya figura depende de la relacion de los dos sonidos, ó sea de las velocidades respectivas de los espejitos.

La experiencia demuestra que cuando los diapasones suenan unísonos, proyectan en general una elipse más ó ménos prolongada, la que puede convertirse en circunferencia y hasta transformarse en una línea recta, segun la relacion en que se hallen las fases del movimiento vibratorio. Las curvas luminosas, sin dejar de ser características en cada caso, se complican á proporcion que es ménos simple la relacion del número de vibraciones.

La constancia de los resultados obtenidos por la composicion óptica de los movimientos vibratorios rectangulares, permite determinar los sonidos con una afinacion en extremo superior á la que pudiera alcanzar el oido mas práctico, comparándolos con los de un diapason normal.

El aparato usado para este objeto, llamado *comparador óptico*, consta de un diapason normal colocado horizontalmente; en una de sus ramas va fija una lente objetiva que viene á corresponder debajo de otra ocular montada sobre un tubo independiente, constituyendo

entre las dos un verdadero microscopio. Siendo otro diapason el que se va á comparar, se le coloca debajo en direccion vertical y de modo que un pequeño punto señalado en la cara superior de una de sus ramas esté precisamente en la línea central del microscopio. Haciendo vibrar los dos diapasones, la figura acústica que resulte dará á conocer el grado de afinacion de los dos hierros de tono.

Si se tratara de comparar el sonido de una cuerda, se la empolva con negro de humo dejando al descubierto un punto que se ilumina con una viva luz, procediendo en lo demás como en el caso anterior.

Débese á M. Kœnig otro procedimiento, conocido con el nombre de *método de las llamas manométricas*, por el que se determinan tambien los intervalos musicales sin el auxilio del oido.

En su forma mas sencilla, se reduce el aparato aplicable á este género de investigaciones á una cajita metálica sostenida por un pie y dividida en dos partes por un tabique vertical formado por una lámina de caoutchouc muy delgada. Uno de los compartimientos lleva una boquilla de pequeño diámetro y comunica inferiormente con un tubo para dar paso al gas del alumbrado: el opuesto se enlaza con otro tubo terminado por una especie de embudo, cerca del cual se cantan las notas que han de producir el efecto.

Inflamado el gas que sale por la boquilla, los sonidos emitidos en la proximidad del pabellon dan lugar á ondas que, penetrando por el tubo, provocan en la membrana sacudidas que esta trasmite al gas, y consecutivamente á la llama. Esta experimenta rápidas contracciones y dilataciones, inapreciables por la vision directa, pero perfectamente sensibles mirando su imágen en un espejo de cuatro caras cuando se hace girar éste con rapidez: aparece entonces una faja luminosa cuyo borde superior se presenta cortado, afectando la figura de una sierra, en la que el número de dientes, así como su magnitud, varian segun que el sonido representa la nota fundamental, la tercera, la quinta, la octava, etc.; marcándose tambien las combinaciones de estas cuando las notas impresionan la llama al mismo tiempo.

## LECCION XV.

FONÓGRAFO: TELÉFONO MAGNÉTICO.

---

Entre las invenciones modernas que mas impresion han causado en el mundo científico figura con razon el *fonógrafo*, ideado por M. Edison en 1877. Con este instrumento, último complemento del método gráfico, no solo se inscriben las vibraciones producidas por la palabra, sino que ésta se reproduce por la accion del mismo papel en que aquellas se han fijado.

Consta el fonógrafo de un cilindro de algunos centímetros de diámetro, surcado en su superficie por una ranura poco profunda, á manera de tornillo, y que puede girar mediante un manubrio al mismo tiempo que avanza en el sentido del eje, como hemos visto en el vibrómetro: á este cilindro se adapta una hoja de papel metálico de modo que penetre bien en el surco. Próxima á la superficie del cilindro va colocada una pieza en forma de anillo, que lleva una lámina vibrante y se ensancha hácia afuera formando la embocadura destinada á recoger la voz. Dicha lámina sostiene un punzoncito cuya punta se aloja en la ranura, siguiendo el movimiento del cilindro.

Con la mayor sencillez se obtienen los maravillosos efectos de este aparato: el experimentador habla cerca de la embocadura con voz clara, marcando bien las sílabas, mientras hace girar uniformemente el manubrio con su mano derecha. La voz provoca las vibraciones de la lámina, que moviendo el punzon, le hace marcar en el papel señales en un todo subordinadas á las inflexiones que la voz sufre: estas señales consisten en rayas ó hundimientos de profundidad variable que persisten en el papel aunque se desprenda del cilindro.

Para reproducir en cualquier tiempo las palabras que originaron las señales, se aplica de nuevo el papel sobre el cilindro, exactamente en la misma posicion que antes tuviera, y colocando la punta del estilete en el principio

de la huella, se hace girar el cilindro; con lo cual se obtiene la reproduccion en sentido inverso de las vibraciones de la lámina, y en virtud de ellas la repetición de las palabras, aunque con alguna variación en el tono y en el timbre. A fin de reforzar el sonido se ajusta á la embocadura que sirvió para hablar una bocina de papel grueso.

El *Teléfono*, como la etimología de su nombre indica, es un instrumento capaz de transmitir las vibraciones sonoras á mucha distancia. Hace más de dos siglos que Hooke consignó como comprobado el hecho de que los sonidos se propagaban rápidamente por un hilo tirante; y en época no muy remota han servido hasta de juguete los teléfonos *de cuerda*, formados por dos canutos, uno de cuyos extremos estaba cerrado con un pergamino, en el centro del cual se fijaba un cordón destinado á establecer la comunicación entre ambos. Estando éste tenso, las palabras pronunciadas en voz baja cerca del uno se oyen desde lejos con claridad aplicando el otro al oído.

Elhisa Gray construyó, en 1874, un teléfono con el cual se transmitían á gran distancia los sonidos musicales por medio de la electricidad, y en 1876, Graham Bell, de Filadelfia, inventó el *Teléfono parlante*, otro portento, hasta hoy de más valía que el fonógrafo, por cuanto se han hecho de él aplicaciones de gran utilidad y trascendencia.

Los muchos sistemas de teléfonos que en el corto período de siete años se han ideado, pueden referirse á dos clases principales: *teléfonos magnéticos* y *teléfonos con pila ó de corriente*.

Entre los primeros merece considerarse como tipo el de Bell, del cual vamos á dar una sucinta idea. (\*)

Todo el mecanismo del teléfono va encerrado en un estuche de madera compuesto de dos partes perfectamente ajustadas; una estrecha, ó mango, que sirve para

---

(\*) La teoría del teléfono no puede ser bien comprendida, careciendo de ciertos conocimientos físicos que solo excepcionalmente poseen los alumnos que cursan la asignatura de Acústica.

asirlo con la mano, y otra ensanchada figurando una caja cilíndrica que lleva una embocadura hemisférica, perforada en su fondo. En el interior de la caja, próxima á la perforacion, hay una placa de hierro dulce y más interiormente, pero muy cerca de ésta, un carrete de madera cuyo hueco aloja una barrita, tambien de hierro dulce, llevando enrollado en su ranura, como el hilo en un devanador, un alambre delgado de cobre revestido de seda, cuyos dos cabos separados atraviesan toda la longitud del mango y van á salir por el extremo de éste, donde se retuercen formando un cordon: por último, á continuacion del carrete, ocupando el eje del cilindro formado por el mango, hay una barra magnética.

Para formar idea del modo cómo funciona el teléfono conviene tener presente: 1.º Que las vibraciones sonoras de la voz producen ondulaciones en el aire, capaces de transmitirse al unísono á cualquier cuerpo flexible y elástico con quien tropiecen. 2.º Qué un iman, al aproximarse al hierro dulce, le comunica transitoriamente su propiedad atractiva con tanta más eficacia cuanto más se acerque á él. 3.º Que mientras está imanado el hierro dulce situado en el hueco del carrete, engendra en el alambre que lo circuye una corriente de electricidad. 4. Que las corrientes eléctricas, al atravesar el hilo del carrete, tienen la virtud de imanar de un modo más ó ménos fugaz el cilindro contenido en su interior como lo hacen los imanes.

Para establecer la comunicacion telefónica entre dos localidades debe haber un teléfono en cada una, enlazados entre sí por los alambres que constituyen el cordon. El teléfono en tanto que se usa para transmitir la palabra, hablando cerca de su embocadura, se llama *trasmisor* ó *parlante*; y el de la otra estacion, que sirve para escuchar aplicando dicha embocadura al oido, se conoce con el nombre de *receptor*. De ordinario se tienen dos teléfonos en cada estacion, con el fin de hablar por él uno y tener el otro adaptado á la oreja para percibir instantáneamente la contestacion, ó para colocar uno en cada oido, lo cual aumenta mucho la intensidad de la impresion recibida.

Los fenómenos esenciales de la trasmision acústica consisten en que las vibraciones que acompañan á la palabra, comunicadas por medio del aire á la placa de hierro dulce, la hacen vibrar al unísono de la voz; resultando de sus sacudidas, ó vaivenes, diferentes grados de imañacion y desimañacion, de donde nacen en el alambre corrientes eléctricas en direccion al receptor, cuyo carrete provoca en su respectiva placa vibraciones unísonas con las de la otra, que son trasmitidas al aire y se perciben aplicando al oido la embocadura.

## LECCION XVI.

MICRÓFONO: TELÉFONO DE PILA: FOTÓFONO.

El *micrófono* es un accesorio del teléfono de corriente: aunque ha sufrido diversas reformas, su construccion se funda en un hecho bien sencillo. Si en el circuito atravesado por una corriente eléctrica se colocan simultáneamente un teléfono y un pequeño cilindro de carbon dispuesto de modo que pueda experimentar ligeras sacudidas, éstas modifican el contacto de los puntos en que el carbon descansa, resultando de aquí variaciones en la intensidad de la corriente que acrecientan poderosamente los efectos telefónicos. Basta decir que el movimiento de las patas de una mosca sobre la tabla del micrófono produce en el oido, á muchos metros de distancia, la misma impresion que la marcha lejana de un caballo, y el suave roce de un papel imita el ruido de una escofina.

Los teléfonos de corriente se distinguen de los simplemente magnéticos en que funcionan auxiliados por una pila eléctrica, interpuesta entre el trasmisor y el receptor.

Uno de los sistemas más usados en esta segunda clase es el de Ader. El receptor difiere del teléfono de Bell en que el iman es circular, en que lleva interiormente un anillo ó armadura de hierro dulce para sobreescitar

las reacciones magnéticas y tiene dos carretes en vez de uno. El trasmisor es un micrófono múltiple, compuesto de doce carbones colocados á semejanza de una reja, los cuales van sujetos á la cara inferior de una tablita de pino que constituye la tapa de una caja en forma de pequeño pupitre.

Al hablar junto á esta tapa, las vibraciones son transmitidas por ella al micrófono, cuyas sacudidas producen el efecto que más arriba hemos indicado.

Para establecer comunicacion telefónica entre dos puntos debe haber en cada uno de ellos un trasmisor microfónico con su pila, un timbre y dos receptores. Suponiendo que estos sean del sistema Ader, deben estar preventivamente colgados en los ganchos de la caja microfónica, pues solo así suena el timbre en el momento que se comprime el boton del avisador en la estacion de partida: éste advierte que se dispongan á escuchar, para lo cual debe colocarse un teléfono en cada oido, contestando cerca de la tapa del micrófono con voz moderada y clara pronunciacion.

La distancia á que puede sostenerse un diálogo llega á ser de muchas leguas, con la particularidad de que no se desnaturaliza el metal de la voz, siendo fácil reconocer á la persona que habla.

El sabio catedrático D. Vicente Rubio y Diaz, en la excelente obra de Física que acaba de publicar, consigna con muchos detalles las experiencias verificadas en 1880 y 81 entre el Fregenal (provincia de Badajoz) y las ciudades de Sevilla y Cádiz; citando entre otros hechos curiosos el de haberse enviado desde Sevilla al expresado pueblo, distante 150 kilómetros, un beso á una niña como recompensa por haber cantado una cancion, que llegó íntegra al auditorio de la capital, así como el beso al oido de la pequeña artista.

La correspondencia verbal entre los habitantes de una poblacion se realiza por medio de la llamada *red telefónica*, que es un sistema de enlace de los conductores eléctricos, combinado de tal suerte que los suscritores pueden comunicar unos con otros, cuando lo desean,

por el intermedio de una estacion central que las empresas tienen establecida para este fin.

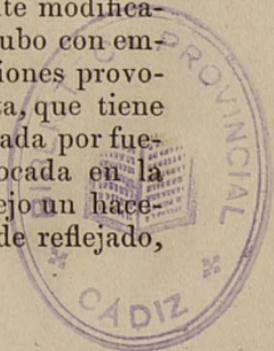
Los avisos á la estacion se transmiten por los suscritores comprimiendo un boton de su respectivo aparato, lo cual hace que se descubra el número que les corresponde en un cuadro dispuesto al efecto: el empleado de turno se pone inmediatamente á sus órdenes y establece la comunicacion con el abonado que se le designa.

La rapidez con que se van generalizando las redes telefónicas, prueba su incalculable utilidad. Entre todas las empresas de los Estados Unidos reunen más de cien mil suscritores; en Inglaterra existe este servicio en cuarenta y siete ciudades, y solo París cuenta más de cuatro mil líneas particulares enlazadas por una estacion principal y otras diez secundarias.

Como aplicacion especial del teléfono de Ader, es digna de mencionarse la de repartir á domicilio, por decirlo así, la música teatral. Hoy puede oirse con toda comodidad una ópera, sin necesidad de salir de casa, por medio de transmisores instalados en el proscenio del teatro que comunican cada cual con el correspondiente receptor del abonado.

Los teléfonos requieren para transmitir los sonidos un alambre conductor que enlaza las estaciones donde se encuentran las personas que hablan; pero un nuevo aparato inventado recientemente por Graham Bell, al que se ha dado el nombre de *foto-fono*, produce el mismo resultado sin emplear hilo de línea. *Un rayo de luz*, lanzado de una estacion á otra, transfiere con prodigiosa exactitud los sonidos articulados.

Se compone el foto-fono de un trasmisor y un receptor, como los teléfonos, aunque notablemente modificados uno y otro: el primero consiste en un tubo con embocadura, destinado á conducir las ondulaciones provocadas por la palabra al interior de una cajita, que tiene por fondo una delgada lámina de mica plateada por fuera, constituyendo un espejo. Una lente colocada en la posicion conveniente concentra sobre el espejo un haz de luz eléctrica ó solar, que despues de reflejado,



cae sobre una segunda lente que lo envia en línea recta al aparato receptor.

Este se compone de un espejo cóncavo que por su forma tiene la propiedad de reunir delante de sí, en un reducido espacio, llamado foco, los rayos luminosos que le son trasmitidos por la lente: en el foco va colocado un cilindrito de selenio, introducido en el circuito de una pila local con un teléfono de Bell.

El selenio posee la cualidad de variar la intensidad de la corriente en proporcion á la energia con que la luz lo hiere, ocasionando las consiguientes modificaciones en el estado magnético de la placa telefónica que se traducen en vibraciones; las cuales, como corresponden exactamente á las que la voz comunica al espejo del trasmisor, hacen funcionar el teléfono como en los casos ordinarios.

Por más que las aplicaciones del fotófono carezcan hasta hoy de importancia, es un lauro para la ciencia moderna el haber convertido á la luz en mensajera de la palabra y de la música.

## TERCERA PARTE.

### TEORÍA FÍSICA DE LA MÚSICA.

#### LECCION XVII.

##### CUALIDADES DEL SONIDO MUSICAL: INTENSIDAD SONORA.

En los sonidos musicales se distinguen tres cualidades completamente independientes bajo el punto de vista de su origen: *la intensidad, el tono y el timbre.*

Por *intensidad* se entiende la energía ó fuerza con que los sonidos impresionan el órgano del oído, la cual se aprecia por la distancia máxima á que el sonido se percibe: por esta consideración decimos que el sonido de la corneta ó del silbato de una locomotora son más fuertes, más intensos, que los producidos por una guitarra.

La causa física de la intensidad reside en la amplitud de las vibraciones del cuerpo sonoro. Esto se comprueba haciendo sonar una campana de bronce, en contacto por su borde externo con un péndulo acústico: durante el tiempo en que el sonido es fuerte, el péndulo experimenta sacudidas que lo alejan mucho de la posición vertical; pero á medida que aquel decrece van siendo las desviaciones menores, oyéndose el tañido de la campana á distancias gradualmente más cortas.

La intensidad sonora, considerada en su origen, es proporcional al cuadrado de la amplitud de las vibraciones, y respecto á la impresión que causa sobre el oído, está sometida á la ley *de hallarse en razón inversa del cuadrado de la distancia á que se encuentre el cuerpo sonoro.* Esta ley se demuestra por medio de cinco timbres exactamente iguales, cuatro colocados juntos á veinte metros del observador y el otro á la distancia de diez metros. Haciéndolos sonar á un tiempo con la misma fuer-

za, puede notarse que el más cercano hace igual impresion que los otros cuatro reunidos.

Si consideramos como unidad de comparacion la distancia del timbre aislado, ó sea 1, la de los otros, que es doble, estará representada por 2, y como los cuadrados de estos números son respectivamente 1 y 4, las intensidades resultan en razon inversa de las segundas potencias, puesto que á doble distancia corresponde cuatro veces menos intensidad.

La extension de la superficie vibrante influye en gran manera sobre la intensidad. Una cuerda delgada produce un débil sonido, al paso que una campana se deja oír desde muy lejos; dependiendo esta diferencia de que la segunda conmueve directamente una masa de aire mucho mayor que la primera.

En igualdad de las demás condiciones, la intensidad del sonido crece en proporcion á la densidad del medio en que aquel se produce. Con una campanilla introducida en un balon de cristal probó Hauksbée que el sonido aumentaba á medida que se condensaba el aire encerrado en su interior: por igual causa deja de oírse un timbre colocado bajo la campana de la máquina neumática cuando se enrarece considerablemente el aire.

En las montañas elevadas es el aire poco denso, por lo que la explosion de las armas de fuego produce en aquellas alturas poco ruido, y es tambien necesario esforzar la voz para hacerse oír á corta distancia. La densidad decreciente de la atmósfera de abajo arriba es causa de que se perciban mejor desde las partes altas los sonidos producidos en las bajas, que en el sentido opuesto, á igualdad de distancia vertical.

Confirman esta teoría las investigaciones hechas por Priestley y Chladni, entre otros. En el ácido carbónico, cuyo peso específico es vez y media mayor que el del aire, gana el sonido en intensidad; al paso que en el hidrógeno, catorce veces menos denso, apenas es perceptible, hallándose estos gases á la misma presion.

Las vibraciones sonoras se extienden en el seno de los líquidos á mayor distancia que en los gases. Dentro

del agua oyó Franklin á más de 600 metros el ruido producido por el choque de dos piedras, y Colladon, habiendo hecho observaciones en el lago de Ginebra, opina que se podrian transmitir señales submarinas á 100 kilómetros, tocando una campana sumergida.

Las corrientes del aire modifican tambien la intensidad del sonido: cuando la atmósfera está en reposo ningun obstáculo ofrece á su propagacion.

Delaroché y Dunal dedujeron de los experimentos hechos sobre este punto, cerca de París, las conclusiones siguientes:

1.<sup>a</sup> El influjo de las corrientes del aire es poco apreciable á distancias menores de seis metros.

2.<sup>a</sup> Para intervalos mayores, el sonido se propaga mejor á favor del viento que en direccion contraria, siendo la diferencia de intensidad proporcional á los espacios.

3.<sup>a</sup> Los efectos del viento se marcan más en los sonidos débiles.

4.<sup>a</sup> La direccion más ventajosa para la audicion es la perpendicular á aquella en que el viento sopla.

Aunque esto último no se comprueba bien en todos los grados de amplitud vibratoria, parece demostrar que la agitacion del aire, en cualquier sentido, dificulta la propagacion de las ondas sonoras.

Confirma este supuesto el hecho de que los sonidos se aprecian á más distancia de noche que de día, y el no menos notorio de que algunos ecos solo se producen despues de puesto el sol. No nace esta particularidad, como á primera vista parece, del silencio que por la noche reina; pues está averiguado que en los bosques vírgenes, poblados de multitud de fieras, aves é insectos nocturnos que atruenan el espacio con sus gritos, cantos y zumbidos, se nota la misma circunstancia.

Humboldt halló la explicacion de este fenómeno en la mayor homogeneidad y calma de la atmósfera durante la noche. El calor que los rayos solares comunican al suelo de día, dilata de un modo muy irregular las capas inferiores del aire, y la variable densidad que estas adquieren produce en las ondas sonoras reflexiones continuas y encontradas que dificultan su propagacion.

Por este motivo la intensidad del sonido apenas experimenta cambio sensible en alta mar, á causa de la temperatura casi constante de la superficie del agua. El frio en las regiones polares da resultados parecidos: así el Capitán Parry asegura haber oído más de una vez á 1.600 metros de distancia, la conversacion de los marineros que hablaban en tono natural.

Siempre que las ondas marchan encauzadas por superficies lisas que les impiden dispersarse en todos sentidos, la intensidad del sonido disminuye mucho ménos que al aire libre. Habiendo colocado Hassenfratz un reloj de bolsillo en el extremo de la canal formada por dos tablas juntas por un borde, oyó el choque del volante á 15 metros de distancia, mientras que en las condiciones ordinarias no podia percibirlo á metro y medio.

De aquí resulta que en los tubos la intensidad varía muy poco con la distancia. En las cañerías del agua de París observó M. Biot que las palabras pronunciadas en voz muy baja se oían por su interior perfectamente á *novecientos cincuenta metros*, y que disparando un pistoletazo en el extremo de la série de tubos, la conmocion del aire llegaba al otro con bastante fuerza para apagar una luz y hasta para arrastrar un papel á *cincuenta centímetros*.

En esta propiedad se fundan los *tubos acústicos*, aplicables á establecer la comunicacion verbal entre las diversas dependencias de los grandes establecimientos, ó á transmitir órdenes á los maquinistas de los grandes buques.

Se prefieren para estos usos los tubos de goma por su fácil y poco costosa instalacion, pues solo requieren la adaptacion á sus extremos de un silbato para avisar y una boquilla para emitir la palabra.

Por último, la proximidad de cuerpos elásticos, capaces de vibrar al unísono, refuerza considerablemente la intensidad del sonido. Para demostrar este efecto se usa un aparato, debido á M. Savart, que consta de una placa circular de laton, atornillada á un pié por su centro, y de varios tubos de carton de un decímetro de diámetro, abiertos por ambos extremos, ó por uno solo, y de longitud distinta. Percutiendo ligeramente la placa

produce un débil sonido; y al colocar encima de ella cualquiera de los tubos á la distancia de algunos milímetros cambia de tal manera la intensidad que parece estarse oyendo una campana á lo lejos.

Una caja de música tenida en la mano da sonidos muy apagados; pero si se pone sobre una cómoda crece notablemente la fuerza y brillantez de estos. Por esta razón el violin, la guitarra, el piano y demás instrumentos de cuerda están provistos de una caja sonora, y en lo mismo se funda la práctica de construir bajo el pavimento que ocupan las orquestas de los teatros una escavacion ó foso de dimensiones adecuadas.

## LECCION XVIII.

TONALIDAD: ACORDES: ESCALA MUSICAL.

---

La *tonalidad*, ó altura, es una cualidad del sonido completamente distinta de la intensidad y del timbre, y por ella se diferencian los sonidos de igual fuerza producidos por el mismo instrumento.

Depende la tonalidad exclusivamente del *número de vibraciones* efectuadas por el cuerpo sonoro en cada segundo de tiempo; calificándose de *graves* ó *bajos* los sonidos procedentes de un corto número de vibraciones, y de *agudos* ó *altos* aquellos que corresponden á un número relativamente mayor.

De aquí se infiere que esta cualidad no es absoluta mas que para la nota mas baja y para la mas alta de la série formada por todos los sonidos perceptibles; pues cualquiera de las otras intermedias será grave comparada con las mas altas y aguda con relacion á las mas bajas. Sin embargo, en la práctica tienen las voces grave y aguda un valor convencional que todos entienden.

El oído aprecia bien la relacion de tonalidad de los sonidos, pero no es apto para contar las vibraciones que á cada cual corresponden, ni por consiguiente para de-

terminar su relacion numérica: ésta se averigua por los métodos que quedan expuestos en la Acústica.

La relacion mas simple que puede existir entre el número de vibraciones de dos sonidos está representada por 1, lo cual supone que el número absoluto de éstas es igual en ambos: entonces tienen la misma altura y se dice que son *unisonos* ó están *al unisono*.

Es evidente que cada sonido se halla determinado por el número de vibraciones que le corresponde; mas para facilitar la comparacion se ha convenido en representarlas, no por su número absoluto, sino por el relativo. Si suponemos que tres sonidos son producidos por 100, 200 y 300 vibraciones en cada segundo, se representa el primero por 1, el segundo por 2 y el tercero por 3, atendiendo á que estos últimos números son proporcionales á los que expresan las vibraciones.

Dos ó mas sonidos simultáneos se llaman *consonantes* cuando su conjunto impresiona agradablemente el oído, y se califican de *disonantes* en el caso contrario. Para que haya consonancia es indispensable que la relacion entre el número de vibraciones de los sonidos coexistentes sea lo mas simple posible: despues del unisono llena esta condicion perfectamente la *octava*, porque teniendo doble número de vibraciones que el sonido á quien acompaña, dicha relacion está representada por 2, lo que explica la facilidad con que se aprecian aquél y ésta.

La reunion de sonidos consonantes recibe el nombre de *acorde*.

Llámase *melodia* la sucesion de sonidos coordinados artísticamente y *armonia* la combinacion de los acordes.

*Escala musical* es una série de sonidos separados por intervalos determinados, cuyo valor y distribucion se fundan en las condiciones orgánicas de nuestro oído.

*Intervalo musical*, bajo el punto de vista físico, es la razon existente entre el número de vibraciones de dos sonidos, tomando siempre como antecedente el mayor, es decir, que se toma por primer término el mas agudo.

La escala está formada por períodos de siete sonidos ó *notas* que se repiten sucesivamente, constituyendo ca-

da período lo que se llama una *gamma*. Estas siete notas se designan, empezando por la más grave, ó *tónica*, con los nombres *do, re, mi, fa, sol, la, si*. (\*)

Los ingleses y alemanes expresan las siete notas con las letras C, D, E, F, G, A, B.

Las relaciones mas simples comprendidas dentro del límite de los sonidos de una *gamma*, es decir, entre 1 y 2, son las siguientes:

$$1 \frac{1}{2}, 1 \frac{1}{3}, 1 \frac{2}{3}, 1 \frac{1}{4}, 1 \frac{1}{5} \text{ ó en otra forma } \frac{2}{3}, \frac{4}{3}, \frac{5}{3}, \frac{5}{4}, \frac{6}{5}.$$

Todos los intervalos que producen consonancia, van expresados á continuación con sus respectivos nombres.

$$\frac{1}{1} \text{ unísono, } \frac{2}{1} \text{ octava, } \frac{5}{3} \text{ sexta, } \frac{3}{2} \text{ quinta, } \frac{4}{3} \text{ cuarta,}$$

$$\frac{5}{4} \text{ tercera mayor, } \frac{6}{5} \text{ tercera menor.}$$

Los acordes formados por tres sonidos obedecen á la misma ley que las antedichas consonancias: son tanto más gratos al oído cuanto mas sencilla sea la relacion de sus vibraciones, comparadas entre sí y con el sonido *fundamental* por ser éste al que todos los demás se refieren.

Sin el menor conocimiento de las reglas del arte musical, permite esta teoría establecer á priori que las notas cuyos intervalos respecto á 1 sean  $\frac{5}{4}$  y  $\frac{3}{2}$ , equivalentes á 4, 5 y 6, formarán necesariamente acorde.

En efecto, las notas *do, mi, sol*, que reúnen estas condiciones, constituyen el llamado *acorde perfecto mayor*; de cuyos tres sonidos el primero y el segundo forman una *tercera mayor*, el segundo y el tercero una *tercera menor* y el primero y el tercero una *quinta*. En igual caso se encuentran las notas *sol, si, re*, pues sus relacio-

(\*) Guido d'Arezzo, aplicó en el siglo XI, á las seis primeras notas los nombres *ut, re, mi, fa, sol, la*, que son las sílabas iniciales de los seis primeros versos latinos de un himno dedicado á San Juan; la nota *si* fué agregada á fines del siglo XVII por el francés Lemaire.

Los griegos y romanos significaban las notas por medio de letras, debiéndose á Guido la innovacion de representarlas con puntos señalados sobre líneas paralelas que se distinguían por letras, y el nombre de *gamma* procede de llamarse así la letra correspondiente á la primera línea. El acorde se indicaba con puntos colocados unos debajo de otros, por lo que se llamó *contrapunto* al arte de combinar los acordes.

nes  $\frac{3}{2}$ ,  $\frac{15}{8}$ ,  $\frac{18}{8}$ , multiplicadas por  $\frac{8}{3}$  se convierten en 4, 5, 6; aconteciendo lo mismo con el grupo *fa, la do*, representado por  $\frac{4}{3}$ ,  $\frac{5}{3}$ , 2, si se multiplican por 3 estos números. (\*)

Los sonidos *la, do, mi*, representados por 10, 12, 15, cuyos intervalos  $\frac{6}{5}$ ,  $\frac{5}{4}$ ,  $\frac{3}{2}$  solo difieren de los anteriores en el orden de los dos primeros, forman el *acorde perfecto menor*.

En la gamma diatónica los acordes son generalmente terceras superpuestas, como sucede con el acorde perfecto mayor.

A los acordes puede juntarse la octava que por su sencillez no altera la consonancia, y entonces tendremos para el *mayor* la série 1,  $\frac{5}{4}$ ,  $\frac{3}{2}$ , 2, ó bien, 4, 5, 6, 8.

Como consecuencia se deduce que las combinaciones en que entren los sonidos de este acorde bastarán para formar un canto siempre agradable al oído: esto se comprueba en el clarín, por ejemplo, que casi no produce mas notas que las del acorde mayor y sus octavas.

Haciendo igual á 1 el sonido mas grave ó *do* fundamental de la gamma, los demás tienen los valores expresados en la série siguiente:

Nombres de las notas....	<i>do</i>	<i>re</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si</i>	<i>do.</i>
(R) Relacion de los n.º de vib. <sup>es</sup> 1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2	
Intervalos respecto á <i>do.</i>	<i>segunda tercera cuarta quinta sexta séptima octava</i>							

Entre los números de relacion comprendidos en la série (R) figuran los valores  $\frac{9}{8}$ ,  $\frac{15}{8}$ , ó bien 1  $\frac{1}{8}$ , 1  $\frac{7}{8}$ , correspondientes á los intervalos de *segunda* y *séptima*, los

---

(\*) Las multiplicaciones, en este caso, solo hacen variar la forma de las cantidades pero en nada alteran sus valores relativos.

cuales por su mayor complicacion no satisfacen la condicion de los acordes y producen por lo tanto disonancias.

La escala musical se compone de varias gammas, cada una de las cuales empieza donde concluye la anterior, y como el *do* fundamental puede corresponder á un número de vibraciones arbitrario, ha sido preciso adoptar un medio que sirva para diferenciar las notas pertenecientes á cada gamma de la série. Los físicos han convenido en tomar como *do* fundamental el sonido mas grave del contrabajo, distinguiéndolo, así como á las demás notas de su gamma, con el índice 1 que se escribe á la derecha y un poco más bajo que ellas en esta forma: *do*<sub>1</sub>, *re*<sub>1</sub>, *mi*<sub>1</sub>, *fa*<sub>1</sub>, *sol*<sub>1</sub>, *la*<sub>1</sub>, *si*<sub>1</sub>, y se lee *do sub 1*, *re sub 1*, *mi sub 1*, *fa sub 1*, etc.

Las gammas mas altas se señalan por su orden con los índices 2, 3, 4... y las mas bajas con -1, -2... leyéndose estas últimas de este modo: *do*<sub>-1</sub>, *do sub menos 1*; *re*<sub>-1</sub>, *re sub menos 1*.... *do*<sub>-2</sub>, *do sub menos 2*; *re*<sub>-2</sub>, *re sub menos 2*.... etc.

La idea de explicar la generacion de la gamma fundándose en la preferencia con que el oído acepta las relaciones simples es debida á Euler, quien notó además que los sonidos capaces de producir consonancia eran aquellos cuyas relaciones estaban representadas por los números primos 2, 3, 5, ó sus múltiplos; no pudiendo entrar el factor 3 mas de tres veces, ni el factor 5 mas de dos.

A parte de la sencillez de las relaciones expuestas se descubren en la gamma otras cualidades que dan mas valor al juicio de Euler. Los sonidos que la componen están repartidos en tres acordes perfectos (*do*, *mi*, *sol*), (*sol*, *si*, *re*<sub>2</sub>), (*fa*<sub>-1</sub>, *la*<sub>-1</sub>, *do*), dispuestos de manera que la nota fundamental de cada uno es la quinta grave ó aguda de la de los otros, si bien las notas están tomadas de distintas octavas.

Escribiendo los sonidos de estos acordes por su orden de tonalidad, y comparando los números representativos de los intervalos que segun sus gammas les corres-

ponden, resulta la série (S) formada por terceras mayores y menores que van alternando.

$$\begin{array}{ccccccc}
 fa_{-1} & la_{-1} & do & mi & sol & si & re_2 \\
 \frac{2}{3} & \frac{5}{6} & 1 & \frac{5}{4} & \frac{3}{2} & \frac{15}{8} & \frac{9}{4} \\
 \underbrace{\hspace{1.5cm}} & \underbrace{\hspace{1.5cm}} & \underbrace{\hspace{1.5cm}} & \underbrace{\hspace{1.5cm}} & \underbrace{\hspace{1.5cm}} & \underbrace{\hspace{1.5cm}} & \underbrace{\hspace{1.5cm}} \\
 (S) & \frac{5}{4} & \frac{6}{5} & \frac{5}{4} & \frac{6}{5} & \frac{5}{4} & \frac{6}{5}
 \end{array}$$

Si se comparan las notas de esta misma gamma, dejando una intermedia, resulta la relacion constante  $\frac{3}{2}$ , ó sea una sucesion de quintas.

## LECCION XIX.

### INTERVALOS DE LA GAMMA: MODOS: ESCALA CROMÁTICA.

Sabemos que las fracciones de la série (R) expresan los intervalos de las seis últimas notas comparadas con la primera, pero además interesa conocer las relaciones de cada nota con su inmediata, ó en otros términos, la razon de dos notas consecutivas: obtiéndose esta dividiendo el valor de cada intervalo por el del que le precede.

El siguiente cuadro reasume las relaciones de las notas entre sí.

NOTACION.	RELACION CON LA TÓNICA.		Relacion entre dos notas sucesivas.
	En fracciones.	En enteros.	
C .. do	.... 1	.... 24	} .... $\frac{9}{8}$ } .... $\frac{10}{9}$ } .... $\frac{16}{15}$ } .... $\frac{9}{8}$ } .... $\frac{10}{9}$ } .... $\frac{9}{8}$ } .... $\frac{16}{15}$
D .. re	.... $\frac{9}{8}$	.... 27	
E .. mi	.... $\frac{5}{4}$	.... 30	
F .. fa	.... $\frac{4}{3}$	.... 32	
G .. sol	.... $\frac{3}{2}$	.... 36	
A .. la	.... $\frac{5}{3}$	.... 40	
B .. si	.... $\frac{15}{8}$	.... 45	
C .. do	.... 2	.... 48	

Se ve en la última columna que los intervalos distintos existentes entre las siete notas de la gamma se reducen á tres,  $\frac{9}{8}$ ,  $\frac{10}{9}$  y  $\frac{16}{15}$ : el primero como mas grande se denomina *tono mayor*, el segundo *tono menor* y el tercero, mas pequeño de todos, *semitono mayor*.

Prescindiendo de la diferencia que hay entre los tonos mayor y menor, se dice que esta gamma, llamada *diatónica*, está formada de dos tonos, un semitono, tres tonos y otro semitono; ó bien de dos tonos y un semitono separados por un tono.

Las relaciones que resultan de comparar los intervalos entre sí son las siguientes:

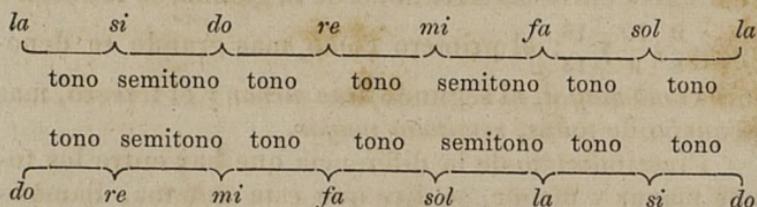
De quinta á cuarta .....	$\frac{3}{2} : \frac{4}{3} = \frac{9}{8}$
De quinta á tercera mayor.....	$\frac{3}{2} : \frac{5}{4} = \frac{6}{5}$
De quinta á tercera menor.....	$\frac{3}{2} : \frac{6}{5} = \frac{5}{4}$
De cuarta á tercera mayor.....	$\frac{4}{3} : \frac{5}{4} = \frac{16}{15}$
De cuarta á tercera menor.....	$\frac{4}{3} : \frac{6}{5} = \frac{10}{9}$
De tercera mayor á tercera menor...	$\frac{5}{4} : \frac{6}{5} = \frac{25}{24}$

La relacion entre el tono mayor y el tono menor  $\frac{10}{9} : \frac{9}{8} = \frac{80}{81}$ , solo difiere de la unidad en  $\frac{1}{81}$ , y se conoce con el nombre de *coma*: es un intervalo tan pequeño que difícilmente puede ser apreciado por cuya razon no se toma en cuenta, considerando aquellos como iguales.

La gamma á que nos estamos refiriendo se llama *gamma mayor* ó *modo mayor*, porque está fundada en el acorde perfecto que contiene la tercera mayor; pero se emplea además en la música la *gamma menor* ó *modo menor*, cuyas bases no son tan precisas como las del modo mayor.

Las dos gammas menores presentadas á continuacion

permiten formar idea de la diferencia que las distingue.



En la primera se suceden los tonos y medios tonos como en la gamma mayor si empezara por *la* en vez de *do*; y en la segunda, que conserva el orden natural de las notas, se halla alterada la situacion de los tonos y semitonos, adaptándose estrictamente á la distribucion de aquella. Las composiciones escritas en el modo menor se conocen fácilmente por su carácter sentimental-y triste.

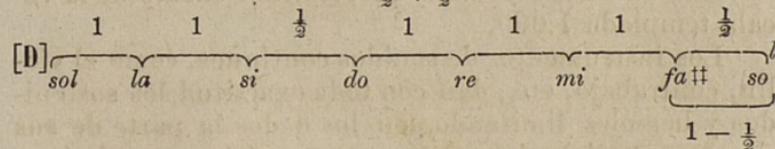
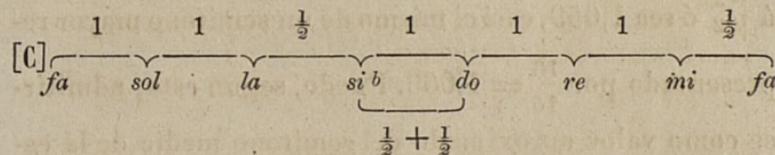
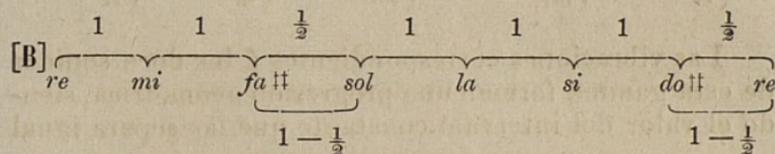
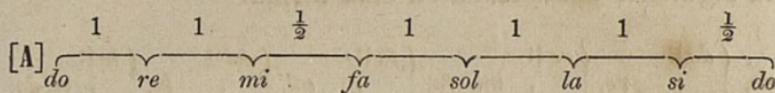
Una composicion musical, considerada en su estructura, no es otra cosa que una série de sonidos tomados de diferentes gammas y distribuidos libremente por el compositor, aunque con ciertas restricciones.

La libertad del compositor, se halla limitada por algunos preceptos generales fundados en las exigencias del oido. Es regla constante concluir por la *tónica*; la quinta forma un descanso imperfecto y se llama *dominante*; la tercera, ó *mediante*, constituye un descanso menos perfecto aun, por el cual se puede concluir, como sucede en el canto llano; la séptima, ó *nota sensible*, por su relacion  $\frac{15}{8}$ , algo complicada, fatiga el oido y exige la pronta sucesion de la *tónica*.

Los instrumentos, así como las voces que han de ejecutar las composiciones musicales no tienen con frecuencia la extension suficiente, siendo entonces necesario *transportar*, es decir, tomar como *tónica* una nota mas alta ó mas baja que la elegida por el compositor. Por otra parte, los sonidos de una misma pieza pueden corresponder á distintas gammas, y para pasar de una á otra cuando cambian de tono, lo que se llama *modular*, es necesario proceder por transiciones determinadas. En ambos casos

se produciría un desarreglo que destruiría por completo el efecto de los siete intervalos, si no se pudieran intercalar entre estos otros dos, conocidos con el nombre de *sostenidos* y *bemoles*. Cualquiera de las notas puede sostenerse ó bemolizarse, subiéndola ó bajándola próximamente medio tono, distinguiéndose en este caso por los signos  $\sharp$  y  $b$ , *sostenido* y *bemol* que las acompañan.

Se comprenderán fácilmente los efectos de este artificio comparando la gamma natural *A* con las subsiguientes *B*, *C*, *D* cuya tónica es distinta.



Sostener una nota equivale á multiplicar su número de vibraciones por  $\frac{25}{24}$ , valor del semitono menor que es el intervalo mínimo empleado en la música, y para bemolizarla se multiplica por la razon inversa, ó sea  $\frac{24}{25}$ .

Entre una nota sostenida y la inmediata bemolizada hay una diferencia insignificante, pero no tanto que los músicos no alcancen á conocerla y los físicos no puedan determinar su valor numérico. Así *re*  $\sharp$  equivalen-

te á  $\frac{9}{8} \times \frac{25}{24} = \frac{75}{64}$  y *mi*  $\flat$  á  $\frac{5}{4} \times \frac{24}{25} = \frac{6}{5}$ , tienen por relacion  $\frac{128}{125}$  que solo excede á la unidad en  $\frac{3}{125}$ .

El oído, sin embargo, tolera esta diferencia hasta el punto que pueden sustituirse sin inconveniente una nota por la otra.

En esta tolerancia se funda la *escala templada* ó *gamma cromática*, dividida en doce intervalos ó semitonos iguales, en la que se confunden cada nota sostenida con la siguiente bemolizada en esta forma:

do,  $\left\{ \begin{array}{l} do \sharp \\ re \flat \end{array} \right.$  re,  $\left\{ \begin{array}{l} re \sharp \\ mi \flat \end{array} \right.$  *mi*, *fa*,  $\left\{ \begin{array}{l} fa \sharp \\ sol \flat \end{array} \right.$  sol,  $\left\{ \begin{array}{l} sol \sharp \\ la \flat \end{array} \right.$  la,  $\left\{ \begin{array}{l} la \sharp \\ si \flat \end{array} \right.$  *si*, do.

Las vibraciones correspondientes á los doce sonidos de esta gamma forman una progresion geométrica, siendo el valor del intervalo constante que las separa igual á  $\sqrt[12]{2}$  ó sea 1,059, casi el mismo de un semitono mayor re-

presentado por  $\frac{16}{15} = 1,066$ . Puede, segun esto, admitirse como valor aproximado del semitono medio de la escala templada 1,060.

Los instrumentos de sonidos contínuos, como el violin, contrabajo, etc., dan con toda exactitud los sostenidos y bemoles limitando con los dedos la parte de sus cuerdas que debe vibrar para conseguirlo; pero el piano y sus congéneres cuyos sonidos son fijos, necesitarían una cuerda ó tecla para cada nota natural y otras dos para su respectivo sostenido y bemol. Las arpas de Erard llevan un mecanismo movido mediante un pedal, con cuyo auxilio se producen las notas bemolizadas acortando un poco las cuerdas que dan las inmediatas sostenidas.

La complicacion de un sistema semejante lo hace inaplicable al piano, y por esto se construye con arreglo á la escala templada correspondiendo los semitonos medios á las teclas negras.

## LECCION XX.

DIAPASON: ARMÓNICOS: ESTENSION VOCAL É INSTRUMENTAL.

---

Aceptando la idea de Sauveur convinieron los físicos en representar por  $do_1$  el sonido mas grave del contrabajo, designando por  $do_2, do_3$ , etc. las primeras notas de las gammas altas sucesivas, cuyo número de vibraciones es en cada una doble que en la inmediata anterior; aconteciendo lo mismo con las de igual nombre en sus respectivas gammas. Los músicos, por su parte, considerando que cualquier sonido puede servir de *tónica* y que los siguientes de la gamma son los que guarden la relacion debida en sus intervalos, se vieron precisados para fijar el orden en la série de gammas á elegir como punto de referencia una nota determinada, prefiriendo para este fin el *la* de la gamma marcada con el índice 3, ó sea el  $la_3$ , que es el sonido de la segunda cuerda del violin, comprendido en la octava media del piano.

Bajo el punto de vista práctico parece que debiera haber bastado la educacion artística del oido para conservar invariablemente el valor musical de esta nota; mas la experiencia dejó comprender que no sucede así, como lo prueba el estar muy bajos los antiguos órganos, y el hecho observado por Sauveur de tener el mismo defecto el tono adoptado en Francia en tiempo de Luis XVI.

Para evitar este inconveniente se ideó el *hierro de tono*, ó *diapason*, que es un pequeño instrumento con el cual se obtiene un sonido constante. El diapason está constituido por una varilla prismática de acero encorvada en forma de pinza, con un pie del mismo metal en su centro, que sirve para asirlo ó para aplicarlo á una caja resonadora, si se quiere dar mas fuerza y claridad al sonido. Este se provoca separando bruscamente las ramas del diapason por medio de otra varilla de mayor diámetro que el intervalo que las separa; dándole un golpe contra un cuerpo duro; ó frotando con un arco de violin una de sus ramas cerca del extremo.

El tono de los diapasones varía segun las dimensiones de la varilla, distinguiéndose por su aplicacion el *tono de capilla*, el de *coro* y el de *ópera*. Este último llegó á ofrecer diferencias considerables en los distintos paises de Europa, nacidas del deseo de aumentar la sonoridad de los instrumentos; resultando de los estudios hechos por M. Lissajous, en 1857, que el  $la_3$  correspondía en las capitales de mas concepto artístico á los números de vibraciones siguientes:

Teatro de San Carlos de Nápoles... 890	Teatro de la Scala de Milan..... 903
Teatro de la Opera de París..... 896	Teatro italiano de Londres..... 904
Teatro de la Opera de Berlin ..... 897	Máximum en Londres..... 910

Para contener esta tendencia ascensional que perjudica notablemente á los cantantes, se nombró en Francia una comision competente que acordó fijar en 870 el número de vibraciones simples del diapason normal, cuyo modelo se custodia en el Conservatorio de música de París, siendo obligatorio su uso para todo los establecimientos musicales de la nacion segun decreto expedido en 1859. (\*)

Con arreglo á este convenio corresponden al  $do_3$  522 vibraciones, y  $130\frac{1}{2}$  al  $do$  grave del violoncello, suponiendo que la temperatura sea de quince grados en que el diapason da exactamente 870 vibraciones, pues el sonido baja un poco cuando aumenta el calor.

En el cuadro siguiente va expresado el número de vibraciones de todas las notas de la octava desde  $do_3$  á  $do_4$  en las dos escalas.

Notas.	Gamma templada.	Gamma natural.	Notas.	Gamma templada.	Gamma natural.
$do_3$ .. ..	517,3 .. ..	517,3 .. ..	$sol_3$ .. ..	775,1 .. ..	776,0
$re_3$ .. ..	580,7 .. ..	582,0 .. ..	$la_3$ .. ..	870,0 .. ..	872,2
$mi_3$ .. ..	651,8 .. ..	646,6 .. ..	$si_3$ .. ..	976,5 .. ..	970,0
$fa_3$ .. ..	690,5 .. ..	689,7 .. ..	$do_4$ .. ..	1034,6 .. ..	1034,6

(\*) El  $la$  adoptado en Alemania es de 880, y en Inglaterra de 888 vibraciones.

En la música se representan las notas de esta octava en el *pentágrama* de esta manera.



Se llaman *sonidos armónicos*, ó simplemente *armónicos*, aquellos cuya relacion entre sus vibraciones está representada por la série natural de los números enteros 1, 2, 3, 4, 5, etc. La denominacion de armónicos se funda en que al combinarse producen generalmente acordes. (\*)

Cualquiera que sea el número absoluto de vibraciones de un sonido, si le consideramos como fundamental llamándole *do*, el segundo armónico corresponde á su octava aguda que como sabemos, tiene doble número de vibraciones; el tercero procedente de  $\frac{3}{2} \times 2 = 3$ , es la octava de la quinta; el cuarto que se obtiene multiplicando 2 por 2 es la doble octava del *do* fundamental; el quinto que procede de  $\frac{5}{4} \times 4 = 5$ , es la doble octava de la tercera: de esta suerte resultan los siete primeros armónicos que van expresados á continuacion:

1	2	3	4	5	6	7
sonido fundamental	primera octava	octava de la quinta	doble octava	doble octava de la tercera	doble octava de la quinta	entre <i>la</i> $\sharp$
<i>do</i>	<i>do</i> <sub>2</sub>	<i>sol</i> <sub>2</sub>	<i>do</i> <sub>3</sub>	<i>mi</i> <sub>3</sub>	<i>sol</i> <sub>3</sub>	y <i>si</i> $\flat$

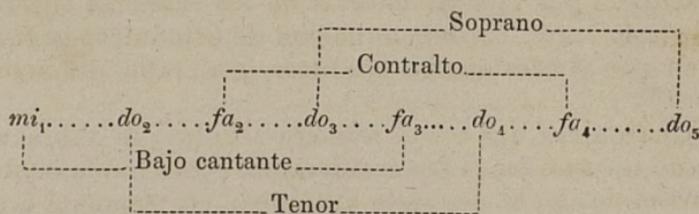
El conocimiento de los armónicos es de bastante interés, no solo porque se producen en más ó ménos número al mismo tiempo que el sonido fundamental en las cuerdas, campanas, varillas y tubos sonoros, sino porque de ellos depende esencialmente el timbre del sonido, como veremos mas adelante.

---

(\*) M. Tyndall les da el nombre de *hipertonos*, aceptando la expresion de los alemanes que los denominan *obertonos* (*sonidos superiores*).

La voz humana, segun el sexo, la edad y las variaciones orgánicas individuales, puede producir notas que corresponden á puntos diferentes de la escala musical, aunque rara vez alcanza un individuo á más de dos octavas. El *fa* inferior del bajo es de 174 vibraciones por segundo y el *la* superior de la tiple de unas 1844, si bien hay voces privilegiadas que exceden de estos límites.

M. Muller fija del siguiente modo los intervalos que pueden abarcar las cuatro voces que toma como tipo.



Comprendiendo seis voces, hacen otros físicos el reparto como va expresado á continuacion:

Soprano.....	<i>do</i> <sub>3</sub>	á	<i>la</i> <sub>4</sub> ♯		Segundo tenor....	<i>do</i> <sub>2</sub>	á	<i>si</i> <sub>3</sub> <sup>b</sup>
Contralto.....	<i>la</i> <sub>2</sub> ♯	á	<i>sol</i> <sub>4</sub>		Barítono .....	<i>si</i> <sub>1</sub> <sup>b</sup>	á	<i>fa</i> <sub>3</sub>
Primer tenor ....	<i>fa</i> <sub>2</sub>	á	<i>re</i> <sub>4</sub> ♯		Bajo.....	<i>fa</i> <sub>1</sub>	á	<i>mi</i> <sub>3</sub> <sup>b</sup>

Resulta de lo expuesto que la extension máxima de la voz humana comprende próximamente cuatro octavas.

Es de notar que algunos cantantes bajan hasta *do*<sub>1</sub> (130½ vibraciones) y otros sube mas allá de *do*<sub>5</sub> (2088 vibraciones).

Las voces de bajo y de tenor son propias de los hombres y las de contralto y de soprano pertenecen á las mujeres y á los niños.

Los niños y las mujeres tienen la voz mas aguda por efecto de la pequeñez de su laringe y de la menor abertura de la glotis; así se observa en los primeros que de los 18 á los 20 años adquiere dicho órgano doble tamaño del que tenia en la infancia.

# ESTENSION DE LOS INSTRUMENTOS DE MÚSICA

MAS CONOCIDOS.

INSTRUMENTOS.	OCTAVAS	NOTAS.	LÍMITES.	
Timbal.....	1	„	fa <sub>1</sub>	fa <sub>3</sub>
Octo-bajo.....	1	4	do <sub>-1</sub>	sol <sub>1</sub>
Trombon.....	1	5	la <sub>1</sub>	fa <sub>3</sub>
Flautin ú octavin.....	1	6	do <sub>1</sub>	si <sub>6</sub>
Contrabajo de 3 cuerdas.....	2	3	sol <sub>-1</sub>	do <sub>3</sub>
Contrabajo de 4 cuerdas.....	2	3	mi <sub>-1</sub>	la <sub>3</sub>
Oficleide contrabajo en <i>mi b</i> .....	2	3	re <sub>-1</sub>	sol <sub>2</sub> <sup>  </sup>
Oficleide contrabajo en <i>fa</i> .....	2	3	mi <sub>-1</sub>	la <sub>2</sub> <sup>  </sup>
Bajon ó fagot ruso.....	2	4	re <sub>1</sub>	la <sub>3</sub>
Contra-bajon ó contra-fagot.....	2	4	si <sub>-2</sub> <sup>b</sup>	fa <sub>2</sub>
Corno inglés.....	2	4	mi <sub>2</sub>	si <sub>4</sub>
Oboe.....	2	4	si <sub>2</sub>	fa <sub>5</sub>
Bombardon.....	2	5	fa <sub>-1</sub>	re <sub>3</sub>
Trombon de pistones en <i>fa</i> .....	2	5	si <sub>1</sub>	sol <sub>4</sub> <sup>b</sup>
Bandolin ó mandolina.....	2	5	sol <sub>2</sub>	mi <sub>5</sub>
Trombon de pistones en <i>mi b</i> .....	2	6	la <sub>1</sub>	sol <sub>4</sub> <sup>b</sup>
Flauta.....	3	„	do <sub>3</sub>	do <sub>6</sub>
Viola.....	3	„	do <sub>2</sub>	do <sub>5</sub>
Bugle ó fiscorno de llaves.....	3	„	do <sub>2</sub>	do <sub>5</sub>
Clarín.....	3	„	do <sub>2</sub>	do <sub>5</sub>
Corneta de 3 llaves.....	3	„	do <sub>2</sub>	do <sub>5</sub>
Trompetas.....	3	„	do <sub>2</sub>	do <sub>5</sub>
Trombon tenor.....	3	„	mi <sub>1</sub>	mi <sub>4</sub>
Trombon bajo.....	3	„	la <sub>-1</sub>	la <sub>3</sub>
Oficleide en <i>mi b</i> .....	3	1	re <sub>1</sub>	mi <sub>4</sub> <sup>b</sup>
Bajon ó fagot en quinta.....	3	1	fa <sub>1</sub>	sol <sub>4</sub>
Serpenton.....	3	1	la <sub>-1</sub>	si <sub>3</sub> <sup>b</sup>
Oficleide bajo.....	3	1	si <sub>1</sub>	do <sub>4</sub>
Oficleide en <i>fa</i> .....	3	1	mi <sub>1</sub>	fa <sub>4</sub>
Clarinete en <i>mi b</i> .....	3	1	sol <sub>1</sub>	la <sub>4</sub>
Clarinete en <i>fa</i> .....	3	2	la <sub>1</sub>	do <sub>5</sub>
Clarinete bajo.....	3	2	re <sub>1</sub>	fa <sub>4</sub>
Bajon ó fagot.....	3	3	si <sub>-1</sub>	mi <sub>4</sub>
Guitarra.....	3	3	mi <sub>2</sub>	la <sub>5</sub>
Viola de amor.....	3	3	re <sub>3</sub>	sol <sub>5</sub>
Violín.....	3	3	sol <sub>2</sub>	do <sub>6</sub>
Violoncelo.....	3	4	do <sub>1</sub>	sol <sub>4</sub>
Cor de basset (especie de clarinete)	3	4	fa <sub>1</sub>	do <sub>5</sub>
Familia de las cornetas.....	3	6	la <sub>-1</sub>	sol <sub>4</sub>
Bastuba ó tuba contrabajo.....	4	„	la <sub>-2</sub> <sup>b</sup>	la <sub>3</sub>
Clarinete requinto.....	4	„	mi <sub>2</sub>	mi <sub>6</sub>
Saxofones.....	4	4	si <sub>-1</sub>	fa <sub>5</sub>
Corneta de 3 pistones.....	4	6	re <sub>-1</sub>	do <sub>5</sub>
Saxtrombas y saxoros.....	5	1	mi <sub>-1</sub>	fa <sub>5</sub>
Arpa.....	5	5	fa <sub>-1</sub>	re <sub>6</sub>
Piano.....	6	„	do <sub>-1</sub>	do <sub>6</sub>
Organo.....	8	„	do <sub>-2</sub>	do <sub>7</sub>

## LECCION XXI.

### TIMBRE: ANÁLISIS Y SÍNTESIS DE LOS SONIDOS.

---

La cualidad por la cual se distinguen los sonidos del mismo tono é intensidad procedentes de distintos instrumentos se conoce con el nombre de *timbre*, y tambien con el de *metal* refiriéndose á las voces.

Notas de idéntica fuerza y tonalidad producidas por el piano, el clarinete ó el contrabajo, por ejemplo, se diferencian perfectamente por su distinto timbre.

Durante mucho tiempo se atribuyó la diversidad de timbres á las particularidades de forma y estructura de los cuerpos sonoros; hasta que, hace veinte años, demostró Mr. Helmholtz de una manera concluyente que el timbre sólo depende del número de armónicos que entran á formar parte de cada sonido.

Las investigaciones practicadas segun el método inventado por dicho físico comprueban que los sonidos rara vez son *simples*, es decir, producidos por una sólo especie de vibraciones, como sucede, aunque escepcionalmente, con los formados por la voz humana al emitir la letra U, con los que dan los tubos cerrados y en ciertos casos los diapasones; siendo lo más general que se hallen compuestos de diferentes órdenes de vibraciones simultáneas.

Se admite, pues, que los sonidos están constituidos por uno predominante ó fundamental, único apreciable ordinariamente, del que depende su valor musical, asociado con otros varios cuyo número relativo de vibraciones está representado por la série que hemos dicho caracteriza á los armónicos.

Analizar un sonido es determinar el número de armónicos que contiene. El análisis sonoro se funda en la resonancia, ó sea la propiedad que poseen los cuerpos huecos, cuando tienen una capacidad conveniente, de reforzar determinados sonidos á causa de que el aire en

ellos encerrado vibra espontáneamente al unísono con el cuerpo de donde emanan.

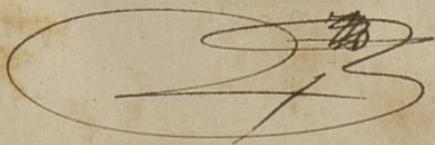
Los sonidos armónicos por débiles que sean, y aun cuando se hallen mezclados con otros muchos, se reconocen con sorprendente facilidad por medio de los *resonadores*. Son estos unas cajas de paredes delgadas cuya capacidad está calculada de manera que el aire contenido en cada una solo entra en vibración cuando suena la nota para que ha sido arreglada. Los que empleó Mr. Helmholtz para analizar los sonidos de los instrumentos de música, de las voces y hasta de los ruidos, eran esféricos con dos perforaciones en los extremos de un diámetro, una mayor para recibir las ondas sonoras y otra de forma cónica para introducirla en el oído.

El procedimiento experimental para el análisis de un sonido es en extremo sencillo. Teniendo una colección de resonadores acordados con todas las notas de la gamma y sus armónicos, basta irlos aplicando sucesivamente á un oído cuidando de taparse el otro al mismo tiempo. Si falta el armónico á que corresponde el resonador, éste entorpece la audición mas bien que la facilita; pero si aquel existe, el refuerzo de sonoridad es tan marcado que no deja lugar á la menor duda.

M. Kœnig ha combinado las llamas manométricas con los resonadores dando á éstos la forma cilíndrica en su mayor parte, que va dispuesta como los anteojos de modo que puede acortarse ó alargarse, variando así á voluntad su cavida, con lo cual se consigue que un solo resonador sirva para reforzar diferentes sonidos.

Lo mas esencial de la modificación introducida por Kœnig en el método analítico de M. Helmholtz consiste en hacer *visibles* las vibraciones de los resonadores para un gran número de personas á la vez.

El primitivo aparato de M. Kœnig constaba de ocho resonadores arreglados para las notas  $do_2$ ,  $do_3$ ,  $sol_3$ ,  $do_4$ ,  $mi_4$ ,  $sol_4$ ,  $\gamma$ , y  $do_5$ . El que hoy emplea se compone de catorce resonadores que van montados en dos filas verticales sobre un bastidor de hierro y están acordados para las notas desde  $fa_1$  á  $do_5$ , entre las cuales las mas altas



dan los armónicos inferiores de las primeras. Ocho de estos resonadores, comunican por tubos de goma con otras tantas cápsulas manométricas provistas de su respectivo mechero de gas, y paralelamente á la série de los ocho mecheros hay un espejo prismático de cuatro caras que se hace girar mediante un manubrio.

Supongamos que con un instrumento de música se produce junto á la boca de los resonadores el sonido fundamental: si dicho sonido es simple, solo sufre sacudidas la llama del primer resonador; pero si contiene uno ó más armónicos, entonces los resonadores correspondientes á éstos entran en vibracion al unísono, é inmediatamente aparecen dentadas las imágenes de sus llamas en el espejo al mismo tiempo que la de aquel.

Con el aparato descrito en la página 69 ha hecho M. Kœnig visible el timbre de las letras vocales. Cantando en la nota *do*, las vocales E, O, por ejemplo, se obtienen en el espejo grupos de tres dientes desiguales y bifurcados en el primer caso; y agrupaciones de siete dientes de distinto tamaño en el segundo.

De los estudios hechos por el método analítico de M. Helmholtz se deducen las siguientes consecuencias generales. 1.<sup>a</sup> Que la gran variedad de timbres de los sonidos depende de la mezcla en proporciones diversas de los seis ú ocho primeros armónicos con el sonido fundamental. 2.<sup>a</sup> Que los sonidos de los instrumentos de música contienen siempre más ó menos armónicos. 3.<sup>a</sup> Que el carácter musical del sonido resulta necesariamente de la combinacion de sonidos elementales que tienen entre sí una relacion simple, hasta el punto de que si falta esta circunstancia se convierte aquel en un ruido vago, cuyo tono es imposible determinar. 4.<sup>a</sup> Cuando los sonidos elementales representan los armónicos del mas grave, el oido solo aprecia la nota fundamental con el timbre resultante de la especie de armónicos que le acompañan. 5.<sup>a</sup> Cantando sucesivamente en la nota fundamental las cinco vocales, se observa que á cada una corresponde un sistema peculiar de armónicos que difieren unos de otros por su naturaleza é intensidad.

Toda vez que un sonido se halla compuesto de otros varios que pueden aislarse, era lógico suponer que se llevaría á reproducir artificialmente, á voluntad, un sonido cualquiera haciendo sonar al mismo tiempo su nota fundamental y los armónicos que el análisis hubiese revelado que lo componian: así lo realizó M. Helmholtz inventando el método sintético.

*Síntesis del sonido* se llama un procedimiento, inverso del análisis, que consiste en producir un sonido compuesto igual á otro dado, combinando directamente los elementos que lo constituyen.

El aparato empleado por M. Helmholtz para efectuar la síntesis de los sonidos se compone de once diapasones fijos sobre una mesa, el mayor de los cuales dá el sonido fundamental  $do_2$  (258 vibraciones), otros nueve sus armónicos, y el restante sirve como interruptor de la corriente eléctrica que los pone en vibración á todos por medio de electro-imanés, entre cuyas ramas van colocados. (\*) Cerca de cada diapason con su electro-iman hay un resonador cuya boca se cierra ó se descubre, según convenga, haciendo mover una tapa de latón por medio de una tecla que funciona como las del órgano. El diapason interruptor, que recibe primero la corriente, está templado al unísono con el que dá el sonido fundamental, y por consiguiente provoca en éste un número de vibraciones igual al de interrupciones que ocasiona con sus sacudidas, mientras que los otros verifican en igual tiempo números múltiplos de vibraciones, que van creciendo según el orden que les corresponde en la serie de los armónicos.

Conocidas las partes que constituyen el aparato y su modo de funcionar, es muy fácil comprender la marcha del procedimiento experimental. Habiendo averiguado de antemano los armónicos que caracterizan al sonido

---

(\*) Un electro-iman consiste en una barra de hierro dulce *encorvada* en forma de herradura que lleva en sus ramas dos carretes donde va arrollado un alambre de cobre revestido de seda. Cuando la corriente eléctrica pasa por el alambre, el hierro dulce se convierte instantáneamente en un imán que atrae hácia sí, separándolos uno de otro, los brazos del diapason; pero en el momento que la corriente cesa el hierro pierde toda su actividad.



que se trata de reproducir, y estando tapadas las bocas de todos los resonadores, se establece la corriente eléctrica. En tal estado el aparato produce un ligero ruido apenas perceptible; pero aplicando los dedos al teclado y comprimiendo las teclas que mueven las tapas de los resonadores convenientes para el caso, aparece súbitamente el sonido y solo resta afinarlo graduando la presión sobre las teclas hasta obtener con toda exactitud el timbre que se desea.

De esta manera se han estudiado los timbres de muchos instrumentos y especialmente el de la voz humana al emitir las vocales.

La A se obtiene uniendo al sonido fundamental los armónicos 3, 5, 6 y 7, debilitando bastante el 3: si se omite este último la letra adquiere un timbre nasal.

La E resulta de combinar los armónicos 1, 2 debilitado y 3 más fuerte; pudiéndose añadir el 4 y el 5 poco intensos.

La I se imita muy bien por la reunión del 1, 2 y 3 apenas sensibles, el 4 muy fuerte y el 5 algo ménos.

La O puede obtenerse con solo los armónicos 1 y 2 de igual fuerza, pero el efecto es más completo asociando además el 3 y el 4 con muy poca intensidad.

La U se produce haciendo sonar el diapason más grave junto con los armónicos 1 y 2.

El timbre dominante en cada una de estas letras se percibe directamente por medio de un sistema de cinco diapasones construidos de tal modo que la nota por ellos producida envuelve en sí una de las vocales, lo cual se reconoce con claridad aplicando al oído resonadores especiales.

Sonando los diez armónicos á la vez dan el timbre de un tubo de órgano abierto cuando produce el sonido fundamental, y si solo juegan los armónicos 1, 3, 5, 7 y 9 resulta el de un tubo cerrado de la misma longitud.

---

## LECCION XXII.

### VIBRACIONES DE LAS CUERDAS.

---

Bajo el nombre de *cuerdas* se conocen en Acústica los cuerpos filiformes y flexibles que, sujetos por sus extremos, son susceptibles de vibrar, y por consiguiente de producir sonidos.

Las vibraciones sonoras de las cuerdas pueden ser *transversales*, ó en direccion perpendicular á su eje; y *longitudinales* ó en el mismo sentido de su longitud. Las primeras se provocan de diversos modos: con los dedos como en la guitarra y en el arpa; con una pua ó pluma como en la bandurria y en la cítara; con un arco como en el violin, viola, violoncelo y contrabajo; ó con martillos especiales como sucede en el piano. Esta especie de vibraciones constituye uno de los recursos mas preciosos de la música instrumental.

Las vibraciones de las cuerdas están sometidas á las cuatro leyes siguientes:

1.<sup>a</sup> Siendo constante la tension ó tirantez, *el número de vibraciones que una cuerda ejecuta por segundo, se halla en razon inversa de su longitud.*

2.<sup>a</sup> En igualdad de las demás circunstancias *el número de vibraciones es inversamente proporcional al diámetro de la cuerda.*

3.<sup>a</sup> En una misma cuerda de longitud invariable, *el número de vibraciones es directamente proporcional á la raiz cuadrada del peso empleado en estirla.*

4.<sup>a</sup> No variando la longitud, el peso ni la tension, *el número de vibraciones se halla en razon inversa de la raiz cuadrada de la densidad de la materia que constituye la cuerda.*

Para demostrar experimentalmente estas leyes se emplea el *sonómetro*, llamado tambien *monocordio* cuando consta de una sola cuerda. Compónese este aparato de

una caja rectangular de madera de la longitud de un metro, destinada á reforzar los sonidos; sobre cuya tapa van clavados en un extremo dos pernos donde se anudan las cuerdas, y en el otro una clavija y una polea para hacer pasar por su garganta la extremidad de las cuerdas que han de estirarse, colgando de ellas pesas de plomo.

Cerca de los pernos y de la clavija hay dos caballetes fijos que limitan la mayor porcion de cuerda que puede vibrar, disponiéndose además de otros dos independientes para colocarlos donde exija el experimento. En toda la longitud de la tapa hay marcadas tres reglas, una central dividida en centímetros y milímetros y dos laterales que llevan señaladas las gammas diatónica y templada.

La primera ley, ó sea la relativa á las longitudes, se comprueba con el sonómetro, colocando en él una cuerda cualquiera que se estira con la clavija, haciéndola vibrar en toda su longitud con el dedo ó mediante un arco, poniendo atencion á la nota que produce: en seguida se coloca un caballete en su mitad y haciendo sonar solamente una de sus partes, se reconoce con toda claridad que el nuevo sonido es la octava aguda del primero. Teniendo presente que en el intervalo de octava se duplican las vibraciones, queda la ley evidenciada, puesto que á la mitad de longitud han correspondido doble número de vibraciones.

Sabemos que las vibraciones de la nota *do* están ligadas con las correspondientes á las demás de la gamma por las relaciones que representan los quebrados  $\frac{9}{8}, \frac{5}{4}, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, \frac{5}{3}, \frac{15}{8}, 2$ ; por consiguiente, si despues de sonar la cuerda en toda su longitud se hacen vibrar partes de ella equivalentes á  $\frac{8}{9}, \frac{4}{5}, \frac{3}{4}, \frac{2}{3}, \frac{3}{5}, \frac{8}{15}, \frac{1}{2}$  de su largo total; como estas últimas fracciones tienen con respecto á las primeras los términos invertidos, se obtendrán exactamente todas las notas de la gamma natural.

La ley de los diámetros se comprueba montando en

el sonómetro dos cuerdas del mismo metal, una de doble grueso que la otra, y colgando de sus extremidades libres pesos iguales: se observa entonces que la mas delgada dá la octava aguda de la nota producida por su compañera.

No es fácil hallar dos cuerdas cuyos diámetros estén exactamente en la proporcion de 1 á 2; pero esto importa poco para la verificacion de la ley, pues cualquiera que sean sus gruesos, siempre resultará que los sonidos corresponderán á números de vibraciones que se han de hallar en razon inversa de sus diámetros. En el caso, por ejemplo, que una tuviese 3 milímetros de espesor y la otra 2, esta daría la quinta de la primera, lo cual significa que la segunda efectúa tres vibraciones mientras que la primera dá dos. Los diámetros se averiguan, mejor que midiéndolos directamente, pesando porciones de igual largo de ambas cuerdas en el supuesto de que el cociente de dichos pesos representa el cuadrado de la relacion buscada.

Para demostrar la ley de las tensiones se colocan en el sonómetro dos cuerdas idénticas, colgando de la que pasa por la polea un peso conocido, y templando despues la otra al unísono con ella por medio de la clavija: hecho esto se cuadruplica el peso, de lo que resulta que dá la octava alta, es decir, que ejecuta un número de vibraciones como 2 siendo el peso como 4.

Cuando una cuerda suena, no vibra solamente en su totalidad, sino que se divide al mismo tiempo en un número variable de partes iguales animadas de vibraciones que les son propias. Estas partes en movimiento están separadas por puntos *relativamente fijos*, que se llaman *nodos*: las porciones vibrantes comprendidas entre dos nodos consecutivos se denominan *concameraciones*, y la parte media de cada concameracion, que es donde las vibraciones alcanzan su mayor amplitud, recibe el nombre de *vientre*.

Para conocer la situacion de los nodos y vientres se coloca un caballete bajo la cuerda del sonómetro, al tercio de su longitud, y se ponen sobre la seccion mayor

varias tiras de papel dobladas por medio. Hecho esto, se frota con un arco la parte mas corta, notándose en el acto que todos los papeles son lanzados con más ó ménos fuerza excepto el que corresponde al centro, lo cual prueba que en la parte de cuerda no frotada se ha formado un nodo en el sitio donde sigue cabalgando el papel y dos vientres, uno á cada lado. Si con el caballete se limita, para pasar por ella el arco, la cuarta parte de la cuerda, la porcion restante queda dividida en tres vientres separados por dos nodos; si se intercepta de igual modo la quinta parte resultan cuatro vientres y tres nodos, y así sucesivamente. La division de la cuerda en vientres secundarios se obtiene tambien, sin emplear caballete, con solo apoyar ligeramente una pluma ó la yema de un dedo sobre un punto de la cuerda y frotando su segmento mas corto.

De mas bello efecto es el procedimiento de M. Melde, por medio del cual *se ven* perfectamente los nodos y vientres con todos sus detalles.

Al extremo de una de las ramas de un diapason grande fijo sobre un pié de madera, se anudá en un tornillito una hebra de seda blanca que se sujeta por la extremidad libre entre los dedos, sin estirla. Si en tal disposicion se frota con un arco la otra rama, se vé inmediatamente que el hilo entra en vibracion, trazando en el espacio segun el grado de traccion que se ejerza, uno, dos ó mas husos de la apariencia de una gasa trasparente: los estrechamientos marcan el sitio de los nodos que separan las concameraciones.

Puede hacerse tambien este experimento de otro modo que dá resultados mas curiosos é instructivos. Para ello se montan en el sonómetro dos cuerdas iguales templándolas exactamente al unísono, y repartiendo sobre ambas muchos trozos de papel en forma de muñequitos. Despues se hace vibrar por su tercio una de ellas con el arco, viéndose entonces caer todas las figuritas de la cuerda que no se ha tocado, menos las dos situadas precisamente en la misma línea que los nodos de la cuerda frotada.

Este fenómeno, al parecer extraño, es una simple consecuencia de la trasmision del movimiento vibratorio, y prueba que la propagacion del sonido no es otra cosa que una gran vibracion sincrónica de los cuerpos envueltos en la masa de las ondas sonoras, y en él se fundan los procedimientos usados para reforzar los sonidos.

Por cualquier medio que se fraccionen las cuerdas, en el caso que solo se haga vibrar directamente la tercera, cuarta, quinta parte etc. de su longitud total, se van obteniendo los armónicos sucesivos del sonido que produce la cuerda entera, es decir, que si llamamos á este  $do_1$ , corresponden aquellos á las notas  $do_2$ ,  $sol_2$ ,  $do_3$ ,  $mi_3$ ,  $sol_3$ , etc.

Cuando una cuerda vibra en libertad se producen espontáneamente en ella vibraciones totales y parciales, y de estas últimas resulta el timbre particular que la distingue: un oido ejercitado puede percibir en las cuerdas sonoras hasta cuatro armónicos.

Las vibraciones longitudinales de las cuerdas se provocan frotándolas en el sentido de su longitud con los dedos, ó mejor con un paño cubierto de colofonia. Los sonidos que se obtienen de este modo son mucho mas agudos, en igualdad de condiciones, que los producidos por las vibraciones transversales, lo cual indica que el número absoluto de ellas es mayor, pero el relativo se halla sometido á la ley de las longitudes.

Cuando una cuerda vibra longitudinalmente en toda su extension, experimenta contracciones y dilataciones alternativas en sus dos mitades, formándose un vientre en la parte media y dos nodos en los extremos: el punto V de la figura [17], que corresponde al vientre, conserva una densidad inalterable; pero la amplitud del movimiento es mayor en él que en todos los demás, decreciendo hasta A y C que son los nodos.

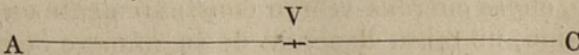


FIG. 17.

Las vibraciones longitudinales de las cuerdas no tienen aplicaciones de importancia en el arte musical.

## LECCION XXIII.

### APLICACIONES DE LA TEORÍA FÍSICA Á LOS INSTRUMENTOS DE CUERDA.

Las cuerdas vibrantes se han empleado desde los mas remotos tiempos en la construccion de instrumentos músicos de muy variadas formas, cuya invencion y perfeccionamiento suponen multitud de ensayos é infructuosos tanteos. Hasta el siglo XVII no fueron conocidas las leyes que presiden á su modo de vibrar, merced á las rigurosas experiencias practicadas sobre este punto por Mersenne, así es que hasta entonces no pudieron los artistas y fabricantes contar con otra guia que el oido, ni con mas bases que las de un vacilante empirismo. Los adelantos de la Acústica ofrecen hoy principios exactos, de los que se deducen reglas precisas para la construccion de los instrumentos de cuerda y para introducir en ellos cuantas reformas exijan las necesidades del arte.

Algunas breves indicaciones bastarán para demostrar que cuanto tiene de exacto en la práctica el resultado que ofrecen los instrumentos nace de la perfecta aplicacion de las leyes físicas.

El violin, por ejemplo, seria harto pobre de recursos si quedara reducido á las cuatro notas que dan sus cuerdas vibrando libremente.

Lejos de ser así, el artista obtiene con él un inagotable caudal de sonidos donde encuentra siempre, á satisfaccion de su oido, todos los matices de la tonalidad sin mas que aplicar la ley de las longitudes, apoyando sus dedos en distintos puntos de las cuerdas á fin de variar la magnitud de la parte vibrante. La riqueza de sonidos del piano, cuyas cuerdas vibran constantemente en toda su extension, no tanto depende de su número como de la diferente longitud que se les dá, por mas que este medio, aun ayudado por la diversidad de diámetros, no le

permite llegar al grado de afinacion del violin: lo mismo puede decirse del arpa que esencialmente no difiere del piano bajo este punto de vista.

Mas general es la aplicacion de la ley de los diámetros á las cuerdas de los instrumentos, vibren ó no estas siempre en su total longitud: en todos ellos presentan un grueso gradualmente creciente, destinándose las mas finas para las notas altas y las de mayor seccion para los sonidos graves.

Los violines, contrabajos, arpas, pianos, guitarras etc., se templan arreglando convenientemente el grado de tension de sus cuerdas por medio de clavijas á propósito, lo cual no es otra cosa que poner en práctica la ley de las tensiones.

Por último, para hacer variar la tonalidad dentro de límites más extensos se emplean cuerdas de distinta densidad, pues es sabido que las metálicas dan á igualdad de grueso notas más graves que las de tripa.

Además de la aplicacion de estas leyes hay que considerar en los instrumentos de cuerda las condiciones de las cajas armónicas, ó de refuerzo, sin las cuales los sonidos carecerian por completo de fuerza y brillantez.

Las cuerdas por sí solas ponen en conmocion una masa de aire muy pequeña; pero esta crece considerablemente por la vibracion sincrónica de las tablas que forman parte del instrumento. La buena cualidad de éste depende, sobre todo, de la especie de madera que las constituye, de su grueso y figura, y de la capacidad que limitan: no siendo la madera perfectamente elástica, una parte del movimiento vibratorio se consume en el roce de unas moléculas con otras, convirtiéndose en calor sin producir sonido.

Entre todos los instrumentos de esta clase, el violin ha merecido la preferencia de los físicos para sus investigaciones, debiéndose á M. Savart los más notables trabajos acerca de sus condiciones acústicas. En él hay que considerar las cuerdas como elemento productor del sonido y la caja como medio de modificarlo y robustecerlo. Las primeras en número de cuatro, de diferente grueso,

se extienden desde la *cola* hasta las clavijas, descansando en un caballete perpendicular á la tapa que las divide en dos partes desiguales, fijando en su plano la longitud de la porcion que ha de vibrar.

La caja, cuya figura es bien conocida, se compone de la *tapa* ó cara superior, generalmente de pino; el *fondo* ó cara inferior de madera compacta, unidas ambas por sus bordes á una chapa que se amolda á todas las sinuosidades del contorno. De esta manera resulta una capacidad llena de aire, en comunicacion con el exterior por dos hendiduras en forma de *f*, practicadas en la tapa á uno y otro lado del puente. La tapa vá reforzada interiormente por un liston pegado á ella en el sentido de su longitud, y por debajo del pié derecho del caballete lleva una columnita de madera, llamada *el alma*, que une la tapa con el fondo.

Es sabido que para que el aire refuerce las vibraciones sonoras de un cuerpo elástico es indispensable que vibre al unísono con él, y tambien queda demostrado que la concordancia en las vibraciones de aquel fluido depende de su volúmen: de aquí resulta que la capacidad de la caja del violin influye poderosamente en la calidad de sus voces. Multitud de pruebas hechas en violines contruidos por Stradivarius y por Guarnerius demuestran de un modo patente esta influencia.

Practicando agujeros en los costados de la caja se atenúa el sonido tanto mas cuanto mayores ó mas numerosas sean las perforaciones; pero recupera aquel todo su vigor cerrándolas con tiras de papel grueso pegadas á la madera. Si se quita en totalidad la tablilla del costado, sujetando la tapa al fondo solo por varias columnas de madera, llega al extremo la debilitacion del sonido: así debe suceder, pues en este caso el aire comprendido entre las dos tablas se halla en amplia comunicacion con el ambiente, formando con él un todo continuo.

Importa además tener en cuenta que en un buen violin, el aire de la caja forma un sistema solidario con la tapa y con el fondo, de manera que las vibraciones de estos tres cuerpos están siempre al unísono. Para con-

vencerse de ello basta hacer vibrar primero el aire solo, soplando con un fuelle cerca del borde de una de las aberturas de la tapa, y despues cualquiera de las dos tablas frotando con un paño mojado una varilla de cristal pegada á ellas con cera: en ámbos casos es igual el sonido. Segun Savart el aire de la caja debe dar próximamente el *do*<sub>3</sub>, ó sea la primera nota del violin.

Resulta de las experiencias hechas con Stradivarius y Guarnerius de reconocida autenticidad y de gran precio, que la tapa y el fondo frotados aisladamente con un arco producen sonidos que difieren en un tono: si el intervalo fuese menor resultarían pulsaciones de mal efecto, y si fuera más grande, la dificultad de ponerse al unísono perjudicaría á la pureza del timbre. Conviene tambien que la tapa sea de madera poco densa y muy elástica para que verifique fácilmente la flexion de las fibras en el sentido de su longitud; al paso que el fondo debe hacerse de madera compacta á fin de que vibre muy débilmente. Se han construido, como ensayo, violines de laton, de acero, y hasta de cristal, y todos han dado mal resultado á causa de la excesiva masa de sus tapas.

Dedúcese de aquí que cualquier detalle de construccion que modifique exageradamente la continuidad de las fibras de la tapa superior, como la curvatura de su superficie ó la del contorno, y aun la figura sinuosa de las hendiduras, debe perjudicar á las buenas cualidades del instrumento, Savart construyó un violin en forma de trapecio, con las hendiduras rectilíneas y las dos tapas planas, cuyas voces eran excelentes.

La explicacion teórica del modo como obra *el alma* no es tan fácil como á primera vista parece, si bien es un hecho evidente que su falta produce una disminucion notable en la intensidad del sonido, haciéndolo al mismo tiempo más grave.

Savart opinaba que el efecto del alma consistía en dirigir las vibraciones normalmente á la tapa, fundándose en que si se frotaban las cuerdas en direccion perpendicular á ésta no se notaba su falta. Sin embargo, á ser así, no se explica por que el alma debe colocar-

se precisamente bajo uno de los pies del puente y no entre estos; ni se comprende la causa de que el sonido decaiga cuando se pone una columna debajo de cada pié, y mucho ménos que la tabla del costado no supla con ventaja al alma, teniendo su misma direccion y ocupando todo el contorno de la caja.

M. Daguin explica estos hechos del modo siguiente: el alma sirve para dar al pié del puente un punto de apoyo alrededor del cual vibra, produciendo con el otro sacudidas sobre la tapa. Si uno de los piés no estuviese fijo, como el arco roza oblícuamente sobre las cuerdas, éstas comunicarian al puente un movimiento de balanceo en sentido transversal, más propio para perturbar el sincronismo vibratorio que para unificarlo; por esto, cuando se corre el arco perpendicularmente á la tapa, el alma no hace falta para nada. Así se comprende tambien la conveniencia de que el puente sea ligero y apoye en la tapa únicamente por sus extremos, pues si tocase á ella en toda su longitud y su masa fuera considerable vibraria con ménos fuerza, produciendo un efecto algo parecido al de la sordina.

El puente, si bien contribuye á reforzar los sonidos, tiene el inconveniente de disminuir la duracion de las vibraciones. En la guitarra, que no tiene caballete, los sonidos persisten por más tiempo á causa de que la caja recibe las conmociones en direccion paralela á las fibras de la tapa; debiendo el arpa su mayor sonoridad á la direccion oblícua de sus cuerdas respecto á la caja.

La madera de los violines, como todos los cuerpos, sufre con el tiempo cambios moleculares que mejoran sus cualidades sonoras: así se observa que estos instrumentos van adquiriendo con la edad mayor dulzura y suavidad de timbre, en lo cual influye mucho la educacion, por decirlo así, que adquieren lentamente bajo el dominio del profesor que los toca, porque las moléculas, refractarias al principio, concluyen por amoldarse á todas las exigencias de las cuerdas vibrantes.

---

## LECCION XXIV.

### VIBRACIONES DEL AIRE EN LOS TUBOS SONOROS.

---

Sabemos que el sonido se propaga en virtud de las vibraciones del aire; pero cuando éste fluido, ú otro gas cualquiera se halla encerrado en cavidades de paredes resistentes puede vibrar como los cuerpos sólidos y transmitir su movimiento vibratorio al aire exterior siempre que comunique con él por alguna abertura. La naturaleza del sonido que en tal caso se engendra depende del volúmen y forma de la masa gaseosa, de la disposicion de las capacidades que la contienen y del modo como las paredes de estas se conmueven.

Llámanse *tubos sonoros* aquellos que se aplican á producir sonidos haciendo vibrar la columna de aire que contienen. Para esto es preciso excitar en ella una sucesion rápida de condensaciones y dilataciones que han de propagarse en toda su longitud, lo cual se consigue por medio de una parte accesoria conocida con el nombre de *embocadura*. Segun la disposicion de ésta se dividen los tubos sonoros en dos clases: tubos *de embocadura de flauta* ó de *boca*, y tubos *de lengüeta*.

En la embocadura de flauta todas las partes son fijas, pudiendo tener el tubo, propiamente dicho, la forma prismática ó cilíndrica y estar construido de cualquier materia, con tal que su longitud supere mucho al diámetro interior y que sus paredes tengan un grueso suficiente para no vibrar por continuidad. Cuando falta esta última condicion, dichas paredes reaccionan sobre las ondas vibrantes y cambian la tonalidad del sonido.

Haciendo sonar un tubo de papel y otro de madera exactamente iguales, se nota que el primero dá un sonido bastante más grave, y se prueba que la diferencia de tono depende de su vibracion propia, colocándolo ho-

rizontalmente y cubriendo de arena fina su parte superior.

La figura [18] representa el corte longitudinal de un tubo con embocadura de flauta: la porcion señalada con la letra *p* es un conducto cilíndrico, llamado *pié*, por donde entra la corriente de aire impulsada generalmente por un fuelle; de aquí pasa al ensanchamiento que se vé encima, atraviesa en seguida una hendidura *l* denominada *luz* y sale despues por la boca *b*, que está practicada en la misma pared del tubo, y por consiguiente en un plano perpendicular al de la luz.



FIG. 18.

El borde alto de la boca, que está cortado en bisel, terminando en un filo delgado, se llama *labio superior*, y la parte baja más gruesa constituye el *labio inferior*.

Las vibraciones se originan en la boca de la manera siguiente: al salir el aire por la *luz* choca con el labio superior sufriendo una detencion instantánea en su marcha, de lo cual resulta que se comprime; esta compresion aumenta en el acto su fuerza elástica y por un momento sale con más rapidez por la boca, y como estas alternativas se reproducen de un modo continuo, provocan en el aire del tubo una serie de ondas condensadas y dilatadas que persisten mientras dura la insuflacion.

Las ondas son tanto más rápidas cuanto mayor es la velocidad del viento y menor la distancia que media entre el labio superior y la luz. Para que resulte un sonido claro debe existir una relacion proporcionada entre las dimensiones de los labios, la abertura de la boca y la magnitud de la luz.

Se demuestra con los tubos de boca que vibra el aire interior y no el cañon que lo contiene, haciendo sonar tres de ellos de igual longitud, uno de madera, otro de carton grueso y el tercero de plomo ó de laton; notándose

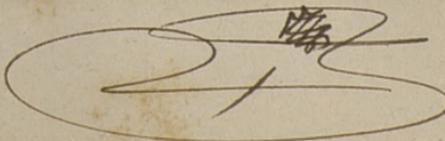
de este modo que los sonidos producidos tienen la misma altura.

En los tubos de *lengüeta* se conmueve el aire alojado en su interior por medio de láminas elásticas. Empléanse dos especies de lengüetas, una llamada *batiente* y otra *libre*.

El sistema de *lengüeta batiente* se compone de una pieza hueca de madera ó de metal, en forma de cuchara, denominada *canilla*, cuya cavidad comunica por arriba con un agujero practicado en el centro de un tapón prismático que cierra la abertura superior de una caja designada con el nombre de *porta-viento*, en la cual penetra la corriente del aire por un pié, como en la embocadura de flauta. Delante de la canilla hay una hoja delgada de latón, ó sea la lengüeta, fija en la tapa y ligeramente encorvada hácia afuera de modo que en su posición natural está en gran parte separada de los bordes de aquella: un alambre grueso en forma de aldabilla, que se llama *raseta*, atraviesa la tapa y sirve para variar la porción vibrante de la lengüeta introduciéndolo más ó ménos. Al orificio de la tapa se pueden adaptar tubos de distintas figuras y dimensiones, llamados cornetes de armonía, que sirven para reforzar el sonido: suele en este caso llamarse al porta-viento pié del instrumento.

Las paredes del porta-viento de los instrumentos empleados en los cursos de física son de cristal en la parte que corresponde á la lengüeta, para que pueda verse cómo ésta funciona.

El aire que entra por el pié en el porta-viento franquea en el primer instante el espacio que media entre la lengüeta y los bordes de la canilla y sale por el agujero de la tapa; pero creciendo la velocidad del viento se adapta la lengüeta contra la canilla y queda interrumpida la corriente gaseosa. En virtud de su elasticidad se rehace la lengüeta restableciéndose la corriente, que interrumpida de nuevo con intermitencia, dá lugar á ondas condensadas y dilatadas cuya alternativa produce las vibraciones del aire. El sonido resulta tan-



to mas agudo cuanto mas rápidas son las sacudidas de la lengüeta, y el grado de rapidez depende de la velocidad con que el aire penetra en el porta-viento.

El timbre del sonido que producen las lengüetas batientes es áspero y desentonado, lo cual nace del choque de la hoja metálica contra los bordes de la canilla, como tambien de la desigual velocidad y amplitud de las escursiones de ésta á uno y otro lado de su posicion de equilibrio, pues es mas corto el trayecto que recorre cuando marcha hácia la canilla y se interrumpe en este sentido bruscamente su movimiento. Para corregir en lo posible este defecto se acostumbra á pegar una tira de piel fina á los bordes de la canilla á fin de amortiguar la rudeza del choque.

La lengüeta libre, cuya invencion se atribuye á Grenié y tambien á Sebastian Erard, produce sonidos mas suaves y agradables. En vez de la canilla tiene una caja prismática con la cara anterior de laton donde lleva una hendidura que está cerrada por una lengüeta plana, fija por arriba, y de tal dimension que puede doblarse hácia adentro y hácia fuera rasando con los bordes de la abertura, pero sin tocar con ellos: en lo demás no difiere de la lengüeta batiente.

El modo de funcionar de la lengüeta libre tiene fácil explicacion: impelida por la corriente del viento se encorva hácia dentro dejando libre paso al aire; de aquí resulta una disminucion instantánea en la presion que la permite retroceder por efecto de su elasticidad, y al rasar con los bordes de la hendidura intercepta la comunicacion con la caja. Así se establece una série de oscilaciones que producen intermitencias en la salida del aire y en su consecuencia ondas condensadas y dilatadas.

Hemos dicho que en la lengüeta batiente la rapidez del movimiento vibratorio, y por consiguiente el tono, depende sobre todo de la velocidad ó fuerza del viento; en la lengüeta libre lo que mas influye sobre la tonalidad es la longitud de la chapa vibrante, su espesor y la materia de que está construida.

La masa de aire encerrada en el porta-viento debe vibrar al unísono con la lengüeta, y para esto es preciso que sus dimensiones se hallen comprendidas dentro de ciertos límites. También se ha observado que las vibraciones del aire reaccionan sobre las de la lengüeta de manera que el sonido no es el que producirían ésta ni aquel separadamente, sino un término medio entre los dos. El influjo recíproco de estas dos especies de vibraciones es tan notorio que cuando su número se diferencia mucho la lengüeta se resiste á vibrar, como lo ha demostrado Webber por diferentes experiencias.

Durante mucho tiempo se atribuyó el sonido de las lengüetas á los repetidos choques que el aire les imprimía; pero esta explicacion no es admisible toda vez que aquellas nunca suenan frotándolas con un arco, mientras que la insuflacion las hace siempre vibrar con una intensidad proporcional á la corriente del aire.

Cuando se producen al mismo tiempo dos sonidos graves cuyo número de vibraciones difiere poco el uno del otro, percibe el oido con facilidad refuerzos que se suceden á intervalos iguales: estos aumentos periódicos de sonoridad han recibido el nombre de *pulsaciones*. Los sonidos coexistentes, cualquiera que sea su origen, con tal de que no se hallen perfectamente al unísono, van acompañados de pulsaciones; pero éstas se notan de un modo mas marcado por medio de los tubos sonoros.

Para explicar su produccion supongamos que los dos sonidos corresponden respectivamente á 95 y 96 vibraciones: es claro, que al cabo de 95 del primero ó de 96 del segundo ocurrirá una coincidencia y por consiguiente un refuerzo ó pulsacion. Si las pulsaciones son tan rápidas que lleguen á engendrar por sí mismas un sonido continuo, éste será necesariamente mas grave que los que lo han provocado, puesto que cada vibracion suya corresponde en igual tiempo á 95 ó 96 de los otros. Llegando por lo menos á 32 las pulsaciones verificadas en un segundo, se oye á la vez que los sonidos principales otro mas bajo, llamado *sonido resultante*.

El sonido resultante parece haber sido descubierto á mediados del siglo pasado por A. Sorge, y una de las maneras de obtenerlo constituye la *experiencia de Tartini* que se ha hecho notable por haber pretendido este músico fundar en ella un nuevo sistema de armonía. Dicha experiencia se reducía simplemente á hacer sonar con fuerza por algun tiempo dos tubos de órgano que daban notas separadas por el intervalo de una cuarta.

Como consecuencia de los estudios hechos acerca de los sonidos resultantes se deduce, que cuando coexistan los armónicos 1, 2, 3, 4 etc., tan solo se oirá el sonido 1, pues los otros combinados dos á dos lo producen como resultante, excepto los armónicos 2 y 4 que dan el 2, el cual se junta al que existe ya en la série.

Sin embargo, estos sonidos por derivacion, aunque velados, se dejan percibir lo bastante para influir sobre el timbre del fundamental. En los órganos está formado el registro de corneta por cinco tubos que dan los armónicos 1, 2, 3, 4 y 5.

A medida que los sonidos combinados son mas bajos, siempre que no varíe su relacion, adquiere mayor gravedad el sonido resultante, hasta llegar á producir pulsaciones desagradables. La simultaneidad de dos sonidos correspondientes á 400 y 500 vibraciones por segundo engendra un ruido semejante al redoble de un tambor.

En las pulsaciones se funda un ingenioso procedimiento, debido á M. Scheibler, mediante el cual un individuo que carezca de toda práctica y hasta de finura de oído puede templar fácilmente un órgano. Consiste en hacer uso de diapasones que den, no los sonidos exactos de la gamma templada que es preciso obtener, sino otros que difieren de ellos lo suficiente para producir un número de pulsaciones determinado. El resultado se consigue perfectamente con solo modificar poco á poco el sonido de cada tubo del órgano hasta conseguir que combinado con el de su respectivo diapason, produzca por segundo un número de pulsaciones conocido de antemano: para esto no se necesita saber oír, sino simplemente contar.

Por medio de las pulsaciones es tambien posible averiguar el número absoluto de vibraciones correspondientes á dos sonidos graves, cuyo intervalo musical sea conocido con exactitud: siendo éstos, por ejemplo, una nota natural y la misma sostenida, cuya relacion de vibraciones está representada por  $\frac{24}{25}$ ; si al sonar ambas á la vez produjesen cuatro pulsaciones ó coincidencias por segundo, efectuarían  $4 \times 24 = 96$  vibraciones el primero, y  $4 \times 25 = 100$  el último.

Los instrumentos capaces de mantener largo tiempo un sonido, como el violin ó los órganos expresivos, se prestan muy bien á este género de investigaciones que no exige mas auxilio que el de un cronómetro.

## LECCION XXV.

### NODOS Y VIENTRES EN LOS TUBOS SONOROS: LEYES DE BERNOUILLI.

Cuando vibra la columna gaseosa contenida en un tubo sonoro, quedan siempre inmóviles algunas capas de aire perpendiculares á su longitud. Estas capas, cuya velocidad es constantemente nula, son conocidas con el nombre de *nodos*; la lámina de aire que las constituye está sufriendo continuas variaciones de presión y de densidad.

El aire comprendido entre dos nodos sucesivos conserva un grado de condensacion invariable é igual al de la atmósfera; pero lejos de hallarse en reposo, experimenta un movimiento vibratorio que adquiere su mayor fuerza en un plano equidistante de dichos nodos: la capa de aire que á este sitio corresponde se llama *vientre*.

La teoría de la propagacion de las ondas sonoras puede servir para explicar la formacion de los nodos y vientres. La capa de aire correspondiente á un nodo permanece inmóvil á causa de que las moléculas aéreas que por una y otra parte la rodean se hallan animadas de

velocidades iguales y contrarias, y dada la continuidad de la masa gaseosa, no es posible que aquellas puedan adquirir una velocidad opuesta por ambos lados sin pasar por un estado intermedio de reposo. Se concibe fácilmente que hallándose el nodo situado entre dos porciones de aire animadas de movimientos inversos debe poseer una densidad distinta de la normal, que será superior á ésta cuando los dos movimientos opuestos tiendan simultáneamente á reducir su volúmen, y por el contrario mas pequeña, cuando ambos contribuyan á aumentarlo.

Tambien se comprende que por efecto de los cambios alternativos de velocidad que tienen lugar en toda la longitud de la columna de aire vibrante, dos nodos sucesivos se hallarán al mismo tiempo en condiciones tales que cuando el aire del uno esté mas comprimido ó sea mas denso que el atmosférico, el del otro se encontrará mas enrarecido ó con una densidad relativamente menor.

El estado invariable de densidad, propio de los vientres de vibracion, se explica considerando que el aire no puede pasar de la condensacion máxima que tiene en un nodo á la dilatacion extrema que presenta en el inmediato, sin que exista una capa intermedia, igualmente separada de los dos, dotada de la misma densidad que la atmósfera ambiente y animada al propio tiempo de mayor velocidad que las inmediatas.

La existencia de los vientres y nodos, asi como su respectiva situacion, se demuestra experimentalmente de varias maneras.

Sobre la caja del fuelle acústico se monta un tubo largo de cristal con embocadura, en el cual se va introduciendo lentamente, mientras suena, un piston fijo á una varilla; notándose por este procedimiento que de trecho en trecho se reproduce un sonido igual al que daba el tubo destapado; pero que varía ostensiblemente en las posiciones intermedias del piston. Como éste por su solidez va anulando las vibraciones de las capas de aire que toca, es evidente que se hallaban agitadas en unos

puntos, que son los vientres, y en perfecto equilibrio en otros, que son los nodos.

Haciendo sonar del mismo modo un tubo de madera con perforaciones practicadas á distintas alturas, que pueden cerrarse ó abrirse á voluntad por medio de obturadores giratorios, se observa que al destapar las que corresponden á los vientres no experimenta el sonido variación alguna, en razon á que el aire interior tiene en ellos la misma densidad que el de la atmósfera; pero sucede lo contrario al abrir las que se hallan en el plano de los nodos, porque teniendo estos una densidad distinta, cambia el tono en cuanto se equilibra con la que reina al exterior y se forma en su lugar un vientre.

Valiéndose del método empleado por Savart para hacer sensibles las vibraciones del aire, expuesto en la página 37, se marcan bien los sitios que ocupan los nodos, pues en ellos no sufre sacudidas la arena, al paso que en los vientres es lanzada fuera de la cajita al impulso de las commociones del papel.

Las llamas de Kœnig sirven perfectamente para esta demostracion.

En una de las paredes de un tubo sonoro rectangular van aplicadas tres cápsulas manométricas con su mechero alimentado por una corriente de gas del alumbrado. Haciendo dar al tubo el sonido fundamental arden tranquilamente las llamas de los extremos y se apaga la que ocupa la parte media: esto sucede así porque las alternativas de presión del nodo perturban la salida del gas hasta extinguir la llama, lo cual no puede tener lugar en los vientres.

Con una larga flauta compuesta de varios tubos atorillados unos á otros, y de una longitud tal que los empalmes correspondan exactamente á los vientres de vibración, se observa que quitando una despues de otra todas las piezas no cambia lo más mínimo el tono del sonido.

La distribución de los nodos y vientres varía en los tubos sonoros segun que tengan abierta ó cerrada la extremidad opuesta á la embocadura. En los de la pri-

mera clase, llamados *tubos abiertos*, el aire próximo á la boca lo mismo que el que ocupa el extremo opuesto, hallándose en contacto con la atmósfera, adquiere la misma densidad que ésta, y por lo tanto se forma un vientre en uno y otro punto.

Cuando el tubo dá el sonido fundamental resulta un nodo en la mitad del intervalo que separa los dos vientres; de donde se deduce que la longitud de la onda completa es en este caso igual á cuatro veces la distancia que media entre un nodo y un vientre, ó sea el doble de la longitud del tubo. Forzando la accion del fuelle, sube el tono y aparecen en el mismo intervalo dos nodos y un vientre; por consiguiente la extension de la onda queda reducida á la mitad y se oye el segundo armónico. Si se aumentara algo mas la fuerza del viento, resultarían tres nodos y dos vientres intermedios, y siendo entonces tres veces menor la longitud de la onda, se obtendria el sonido 3.

Los *tubos cerrados*, ó bordones de los organistas, forman siempre cuando suenan un nodo en el fondo y un vientre en la boca, á causa de que el aire no puede vibrar en aquel y lo hace libremente en ésta, conservando á la vez la misma densidad de la atmósfera; de suerte que al dar el sonido fundamental solo se encuentra en ellos un nodo y un vientre, siendo en tal caso la longitud total de la onda cuádruple de la del tubo.

Dando gradualmente mayor impulso al viento, la columna de aire se subdivide en tres partes iguales que comprenden un nodo y un vientre intermedios, quedando la longitud de la onda reducida á la tercera parte, lo que significa que el número de vibraciones se ha triplicado, y por consiguiente se engendra el armónico 3. Al sonido que sigue inmediatamente en altura corresponden dos nodos y dos vientres entre la boca y el fondo, y la distancia que separa á cada nodo del vientre inmediato es cinco veces menor que la correspondiente al sonido 1, ó fundamental, produciéndose el armónico 5.

En los tubos cerrados los nodos y vientres son efecto de la reflexion que las ondas sufren en su fondo. Las

ondas reflejas se cruzan con las directas sin alterarse ni alterarlas; pero las que se encuentran en la misma fase de movimiento se superponen reforzando la vibracion y constituyen un vientre, en tanto que las que coinciden moviéndose en sentido contrario neutralizan recíprocamente sus velocidades produciendo un nodo.

En los tubos abiertos las ondas se reflejan chocando con el aire atmosférico que rodea la extremidad libre del tubo.

Los cambios alternativos de presion y densidad que tienen lugar en los nodos resultan, como ya hemos dicho, del encuentro ó separacion de las ondas. Cuando estas marchan una hácia otra, hay condensacion, y si ambas se alejan, habrá en aquel instante dilatacion; lo cual no obsta para que el nodo permanezca inmóvil, porque en uno y otro caso las velocidades son iguales y contrarias.

Todos los hechos generales de mas importancia que se deducen del estudio de las vibraciones del aire en los tubos sonoros están comprendidos en las siguientes leyes, que llevan el nombre de Bernouilli, por haber sido este físico el primero que las formuló.

1.<sup>a</sup> *El aire vibra en los tubos en el sentido de su longitud, dividiéndose en partes iguales, ó vientres, separadas por los nodos.*

2.<sup>a</sup> *Los tubos dan sonidos cada vez más agudos á medida que se fuerza la corriente de viento que los hace funcionar.*

3.<sup>a</sup> *Los nodos permanecen inmóviles y solo experimentan variaciones de presion, mientras que los vientres conservan una densidad constante y vibran continuamente.*

4.<sup>a</sup> *En los tubos abiertos se forma siempre un vientre en cada uno de sus extremos.*

5.<sup>a</sup> *Los tubos cerrados producen un nodo en el fondo y un vientre en la embocadura.*

6.<sup>a</sup> *Cuando existe solamente un nodo en los tubos cerrados, dan estos el sonido fundamental y la longitud de la onda es entonces igual á cuatro veces la del tubo.*

7.<sup>a</sup> *Con los tubos abiertos se obtienen sucesivamente los armónicos 1, 2, 3, 4, 5... representados por la serie natural de los números enteros.*

8.<sup>a</sup> *Los tubos cerrados dan solo los armónicos 1, 3, 5, 7..... que representan la sucesion de los números impares.*

9.<sup>a</sup> *En tubos de diferente longitud los armónicos del mismo orden corresponden á números de vibraciones que se hallan en razon inversa de sus longitudes respectivas.*

10.<sup>a</sup> *El sonido fundamental de un tubo abierto es una octava más alto que el de otro cerrado de su misma longitud, y cuando aquel se produce la longitud de la onda es doble de la del tubo.*

## LECCION XXVI.

### INSTRUMENTOS DE VIENTO.

---

Los instrumentos de viento reciben formas muy variadas y se fabrican especialmente de madera ó de metal.

Los hay de boca y de lengüeta: entre los primeros se pueden presentar como tipos el *octavin* y la *flauta travesera*. La embocadura del octavin, contiene las mismas partes que hemos visto en los tubos sonoros de su clase, sin más diferencia que los lábios del artista hacen las veces de pié, sirviendo de bisel el borde de la abertura hácia la cual se sopla.

En la flauta está el bisel representado por la arista de un agujero elíptico, contra el que vá á chocar una lámina de aire que forma y dirige con sus lábios el instrumentista: no existe, pues, aparentemente ni pié, ni luz, en este instrumento. El aire llega á la abertura en direccion perpendicular al tubo, lo cual ejerce ventajosa influencia sobre la calidad del sonido, como se reconoce muy bien en los cañones de órgano rectangulares, que estando embocados transversalmente dan sonidos mu-

cho más agradables que los de forma rectilínea. Las paredes de la flauta participan de las vibraciones del aire, modificándolas algun tanto; de donde nace la diversidad de timbres que se nota segun estén construidas de ébano, de boj, de marfil ó de cristal.

La flauta constituye un tubo abierto, por consiguiente, si estando tapados sus agujeros se acrecienta gradualmente la fuerza del viento, se van obteniendo los sonidos 1, 2, 3, 4 etc., ó sean los armónicos que siguen el órden natural de los números.

El sonido fundamental es más bajo de lo que teóricamente corresponde á la distancia de la embocadura al extremo del tubo, y esto se explica por el ensanchamiento de la primera porcion del instrumento, por su prolongacion por el lado de la boca, y por la forma ligeramente cónica de la parte restante. Los agujeros pequeños sirven para obtener las notas comprendidas entre los armónicos, pues como están practicados en la inmediacion de los nodos, al abrir cualquiera de ellos cambia la distribucion de las capas de aire vibrantes y sube el tono del sonido.

No depende solo de la situacion de los agujeros el cambio de tonalidad, como lo prueba el siguiente experimento hecho por Hamel y Biot. En un tubo de boca, formado de carton, practicaron dichos físicos una abertura al nivel de un nodo y pudieron conseguir todas las notas de la gamma inclusa la octava, sin más que ensanchar poco á poco circularmente la perforacion. A pesar de ésto, pretende M. Borhm que aumentando mucho el diámetro de los agujeros de la flauta, se llegaría á obtener el mismo efecto que si estuviese totalmente abierta en el sitio ocupado por aquellos. Por más que no está aun bien estudiado el modo de actuar de los agujeros en los instrumentos de viento, tan patente contradiccion solo puede atribuirse á que la flauta dista mucho de ser un tubo cilíndrico.

Los instrumentos de lengüeta pueden dividirse en dos grupos: de *lengüeta propiamente dicha* y de *boquilla*. Al primero pertenecen el *clarinete*, el *oboe* y el *fagot*; y en-

tre los del segundo se encuentran el *cuerno de caza*, la *trompa*, el *clarin*, la *corneta*, el *trombon* y el *oficleide*.

La lengüeta del clarinete, es una lámina de caña cuya extremidad se introduce entre los labios, y bajo la presión que estos ejercen se estrecha más ó ménos la hendidura que dá paso al viento, al par que modifican según su posición la longitud de la parte vibrante, cuál lo efectúa la raseta en los tubos de órgano.

El clarinete no funciona como los tubos abiertos, aunque visto en su conjunto parezca pertenecer á la clase de éstos: la parte donde encaja la extremidad fija de la lengüeta representa el fondo de un tubo cerrado. Por esta causa los sonidos que se obtienen, hallándose ajustadas las llaves, son los armónicos impares, 1, 3, 5, 7 etc., siendo preciso abrirlas oportunamente para que se formen los intermedios.

El *oboe* y el *bajon* llevan dos lengüetas inclinadas en ángulo agudo, que dejan entre sus bordes una hendidura por donde pasa el aire. El cuerpo del oboe es cónico y sus sonidos armónicos son los de un tubo abierto, y por consiguiente, distintos de los del clarinete.

Con dos pedazos de caña de trigo verde, de algunos centímetros de longitud, que contengan un nudo en un extremo, se pueden improvisar dos instrumentos rudimentarios de lengüeta parecidos respectivamente al clarinete y al oboe. En uno de ellos se corta con una navaja bien afilada, una lámina de dos ó tres centímetros de modo que la incisión llegue hasta cerca del nudo y penetre como un tercio del diámetro de la caña, y en el otro se practica una simple hendidura longitudinal en la misma parte del tallo: con ambos pueden obtenerse sonidos perfectamente musicales.

En los instrumentos de boquilla no existe de un modo aparente pié, porta-viento, ni lengüeta; los dos primeros están representados por la traquea y la boca del artista, y la última por sus labios, que vibran dentro de una cavidad cónica ó hemisférica, terminada por un tubo corto que se adapta al cuerpo del instrumento: las vibraciones de los labios se ven con toda claridad

empleando una embocadura de cristal. El movimiento vibratorio de los labios se regula aproximándolos y extendiéndolos más ó ménos, contando siempre con que la columna de aire ha de vibrar al unísono.

El tubo de esta segunda clase de instrumentos es de latón, marcadamente cónico, y termina por un ensanchamiento en forma de pabellon como la bocina. Esta disposición contribuye sobremanera á la brillantez del sonido: ajustando una boquilla al extremo de un tubo de goma, se obtienen con ella sonidos apagados; pero basta adaptar al otro extremo un pabellon de cartulina, para que adquieran una fuerte resonancia, unida á un timbre metálico muy pronunciado. Esto revela al mismo tiempo que la materia del tubo tiene poca influencia en la sonoridad. Las curvaturas ensordecen tanto más el sonido cuanto son más pronunciadas.

La *trompa* dá los sonidos de la série natural como los tubos abiertos, y para completar las notas intermedias de la escala cromática introduce el músico la mano por la abertura del pabellon, con lo cual baja la tonalidad.

En el *trombon* se hace variar la longitud del tubo introduciendo más ó ménos las varas ó ramas fijas en las movibles. En la *corneta de llaves* se modifica la extension de la columna de aire abriendo ó cerrando la comunicacion del tubo con una cavidad accesoria, por medio de botones que se empujan con los dedos.

Los artistas hábiles sacan de los instrumentos de boquilla ciertos sonidos que dependen exclusivamente de la posicion de sus labios, combinada con el impulso que comunican al viento.

El *órgano* es de todos los instrumentos el que alcanza más extension y comprende mayor variedad de voces: en realidad constituye una especie de orquesta, por cuanto las notas pueden sonar solas, ó combinadas formando toda clase de acordes, y sostenerse por todo el tiempo que se quiera. (\*)

---

(\*) Dejando á un lado los antecedentes históricos puramente conjeturales, parece probado que en el siglo XI se construían ya órganos de muy buenas condiciones, como tambien que se usaban en las iglesias desde el siglo VIII.



Prescindiendo de las variaciones de conformacion secundarias, se pueden distinguir en un órgano cinco partes principales.

1.<sup>a</sup> Los *juegos de tubos*, formados por séries de ellos de la misma especie y de igual timbre: estos tubos son de boca ó de lengüeta y dan el sonido fundamental.

2.<sup>a</sup> La *caja de viento*, donde van montados los tubos, y contiene las válvulas destinadas á dejar paso, ó interceptar la corriente de aire.

3.<sup>a</sup> El *teclado*, que el organista maneja con sus dedos para obtener los sonidos que desea y darles la conveniente duracion.

4.<sup>a</sup> Los sistemas de palancas que sirven para transmitir el movimiento de las teclas á las válvulas de la caja.

5.<sup>a</sup> Los *fuelles*, que almacenan y condensan el aire que ha de hacer sonar todos los tubos.

La *caja de viento*, cuya superficie está en relacion con el número de tubos que sostiene, ofrece muy poca altura, hallándose dividida interiormente en canales ó compartimientos estrechos, por medio de tablas verticales y paralelas. Por la parte correspondiente al origen de los canales, vá ajustada transversalmente otra caja más pequeña, donde desemboca el cañon de los fuelles, la cual lleva una válvula debajo de cada canal para dar paso al viento destinado á alimentar la fila de tubos que van montados sobre él.

La caja mayor tiene una cubierta doble, formada por tablas sobrepuestas y separadas por listones fijos á ellas, que dejan entre sí espacios iguales donde entran con ajuste, ocupando toda su longitud, unas reglas llamadas *registros*, que pueden entrar ó salir un corto trecho. Las dos tapas así como los registros que se alojan en su intervalo, llevan agujeros equidistantes, formando séries paralelas dirigidas en sentido perpendicular á los canales: en los orificios de la superior van implantados los tubos sonoros, de modo que uno de cada série comunica con el mismo canal.

Cuando los registros están introducidos hasta el fon-

do de la ranura, sus perforaciones corresponden frente á la parte maciza de ambas tapas, y entonces, aunque el viento penetre en los canales, no puede pasar á los tubos; pero si se saca un registro tirando de la extremidad libre que sobresale de la caja, queda establecida la comunicacion entre los canales y los tubos que están en la línea de dicho registro, los cuales forman lo que se llama un *juego*. Así pues, al abrir una válvula suenan, de entre los tubos montados sobre el canal que recibe el viento, solamente aquellos que pertenecen á los juegos cuyo registro se encuentra abierto.

El organista abre los registros que le convienen sacando unos tiradores colocados á uno y otro lado del teclado, los cuales transmiten á aquellos la traccion por medio de árboles giratorios enlazados con palancas angulares: para cerrarlos basta empujar hácia dentro los tiradores respectivos.

Las *teclas* en su parte visible están dispuestas como las del piano, pero interiormente terminan en un eje horizontal sobre el cual giran, de modo que cuando se las baja arrastran una varilla de madera fija en su tercio interno, que á su vez comunica el movimiento á otras y abren la válvula de la caja de viento que les corresponde: cada tecla funciona mecánicamente como una palanca de segundo género. Al abandonar la tecla se cierra la válvula por la accion de un muelle.

En los grandes órganos hay varias cajas de viento con sus respectivos teclados, que van dispuestos en escalera unos detrás de los otros. Para transmitir el movimiento de las teclas á las válvulas de las cajas más distantes, se emplea un mecanismo parecido al que se vé en las campanillas ó llamadores de las habitaciones, con la diferencia de que los alambres están reemplazados por varillas de madera que se dilatan poco por el calor y obran lo mismo empujando que tirando.

Suelen usarse hasta cinco teclados en correspondencia con otras tantas cajas, alimentadas por fuelles particulares que envían el aire comprimido en diferente grado. Además de la caja destinada al grupo de tubos de tipo co-

mun, se distinguen con nombres especiales otras varias, entre ellas la del *grande órgano* que dá los sonidos más brillantes, la de los *ecos* y la de los *solos*. Esta última vá con frecuencia encerrada en una *caja de expresion*, cuya tapa en forma de persiana entreabre más ó ménos el organista, cuando quiere aumentar la intensidad de los sonidos, apoyando sobre un pedal colocado á su derecha. Los bajos se hacen sonar tambien por un teclado de pedales.

Como los tubos mayores necesitan mucho viento, se les destina un fuelle especial de más potencia que los otros. Las válvulas soportan como es consiguiente, una gran presion que no se vence sin mucho esfuerzo, y para hacer menos penosa la ejecucion al artista se han ideado diversos mecanismos; siendo uno de los más usados la *palanca neumática* de M. Barker, con la cual por una ingeniosa combinacion, la misma corriente del viento ayuda al movimiento de las válvulas.

Cada fila de tubos de igual especie colocados sobre un mismo registro forma un *juego*. Los juegos dan la gamma cromática y comprenden de dos á cuatro octavas, segun sus usos. Un juego se llama *simple* si cada agujero del registro dá viento á un solo tubo, y *compuesto* cuando alimenta varios tubos á la vez.

Los juegos pueden ser de boca ó de lengüeta. Los primeros se fabrican de madera, de estaño ó de una liga de estaño y plomo. Segun las dimensiones relativas de los tubos se llaman de gran talla cuando el diámetro es la sexta parte de su longitud, de mediana talla si solo llega á un octavo y de pequeña cuando no pasa de un doceavo.

Los juegos de tubos de boca, abiertos, se designan por la longitud del mayor y los cerrados por el doble de su longitud. Los órganos se califican atendiendo á la longitud del juego más grave aunque falte alguno de los intermedios.

Los juegos de boca se llaman de *octava* si están acordados unos con otros á este intervalo y de *mutacion* cuando están arreglados á la tercera, la cuarta ó la quinta de los primeros.

Entre los juegos de boca de mediana talla se cuentan generalmente 18 especies, incluyendo en ellas el *bordon*; entre los de mutacion se hallan la *flauta*, la *corneta* y otros varios.

Los juegos de lengüeta, caracterizados por su brillante sonoridad, se construyen de estaño puro. Los principales son el *contrabajo*, el *clarin*, *cromorno*, *oboe*, *gaita* y la *voz humana*. (\*)

El arte de tocar el órgano ofrece grandes dificultades, contándose entre los más hábiles organistas algunos insignes compositores como Rameau, Hendel, Bach y Mozart.

## LECCION XXVII.

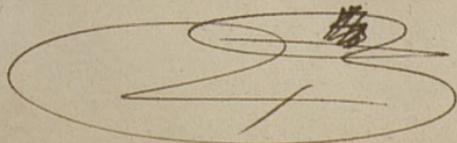
VIBRACIONES DE LAS VARILLAS: APLICACIONES Á LA MÚSICA.

Se dá el nombre de varillas en acústica, tanto á los cuerpos que afectan rigurosamente esta forma como á los prismas y cilindros de corta seccion, ya sean de madera, metal ú otra materia elástica con tal que tengan suficiente rigidez para no doblarse cuando, colocados horizontalmente, se sujetan solo por un extremo.

Hay que estudiar por separado las vibraciones de las varillas *rectas* y las de las *curvas*: unas y otras pueden vibrar longitudinal y transversalmente.

Para provocar las vibraciones longitudinales y hacerlas al mismo tiempo perceptibles se fija una varilla por su parte média entre los dedos, ó de otro cualquier modo, y se frota una de sus mitades en el sentido de la longitud con un paño cubierto de colofonia ó empapado en agua acidulada: acercando enseguida al extremo libre la bolita de un péndulo acústico, se vé que ésta ex-

(\*) Daguin. Traité de Physique.



perimenta fuertes y continuas sacudidas mientras dura el sonido.

Es tambien posible aplicar el método gráfico á esta demostracion; para lo cual se pega en la extremidad de la varilla, perpendicularmente á su longitud, un pequeño estilete, y haciendo mover en direccion vertical un cristal ahumado de modo que roce con la punta: la huella de ésta, marca perfectamente las vibraciones.

Los sonidos que producen las varillas ó barras fijas por el centro son análogos, bajo el punto de vista de sus relaciones, á los que dan los tubos abiertos, y sus vibraciones se hallan sometidas á iguales leyes. Cuando enjendran el sonido fundamental toda su masa está en movimiento ménos la parte equidistante de los extremos, donde se forma un nodo como sucede en aquellos.

La prolongacion que las varillas experimentan en una de las fases de esta especie de vibracion, aunque muy pequeña, supone una fuerza extraordinaria. Baste decir, que si estuviese colocada en posicion vertical y sólidamente fija por su extremo superior, para conseguir un aumento de longitud igual al que adquiere vibrando en ciertos momentos, sería preciso colgar de ella un peso de más de *veinte quintales*.

En varillas de la misma naturaleza fijas por el medio, *el número de vibraciones longitudinales se halla en razon inversa de su longitud, cualquiera que sea su diámetro y la figura de su seccion transversal*. Así, una barra de acero de dos varas de largo dá la octava baja de otra del mismo metal que solo tenga una vara.

Fijando una varilla por el cuarto de su longitud dá un sonido que es exactamente la octava del fundamental; pues en este caso se divide en secciones vibrantes de igual extension á la que presentaria una barra de la mitad de longitud.

Si se fijan sucesivamente puntos situados á la sexta octava, etc., partes del largo total, se obtienen los sonidos 3, 4, 5, etc., es decir, los armónicos correlativos de la nota mas grave, del mismo modo que en los tubos abiertos. Esto prueba que cuando las varillas se con-

mueven longitudinalmente, se dividen como las cuerdas y como el aire de los tubos, en porciones distintas que vibran al unísono.

Las varillas fijas por uno solo de sus extremos se asemejan á los tubos cerrados, y sus vibraciones están sometidas á las siguientes leyes.

1.<sup>a</sup> *El número de vibraciones es igual, en cada caso, al que verificarían si tuviesen doble longitud, estando sujetas por ambas extremidades.*

2.<sup>a</sup> *Los números de vibraciones ejecutadas por diversas varillas varían en razon inversa de sus longitudes.*

3.<sup>a</sup> *Una misma varilla dá únicamente los armónicos 3, 5, 7, 9, etc., del sonido fundamental.*

Para que las varillas vibren transversalmente, ó en direccion perpendicular á su eje, es preciso provocar la reaccion de su elasticidad produciendo en ellas por el choque una flexion instantánea.

La situacion de los nodos y vientres se aprecia empleando varillas aplastadas cuya cara superior se cubre de arena, ó colgando de ellas varios anillos de papel, si conservan la forma cilíndrica.

Consideraremos solamente el caso de que las varillas ó barras vibren estando libres sus dos extremos, por ser el principal modo de aplicacion que tienen á la música.

La division mas simple que en tales circunstancias pueden presentar, dá lugar á dos nodos y tres vientres. Esto se comprueba percutiendo con un martillito el centro de una regla delgada, de dos metros de longitud, que se sujeta entre el pulgar y el índice de las dos manos á la distancia de unos 33 centímetros de ambas extremidades. Colocándola á la altura de los ojos se observa que el segmento médio traza un huso en el espacio, y los dos exteriores una especie de abanico.

La nota mas baja producida por una varilla en las condiciones de la regla, comparada con la que dá sujetándola por un extremo, es mas aguda en la proporcion de 4 á 25. Al sonido inmediato corresponden cuatro

vientres separados por tres nodos, y se conserva la misma elevacion relativa de tono que en el caso anterior.

Las leyes de las vibraciones transversales son bastantes complicadas, por lo que nos limitamos á exponer la siguiente:

*En varillas rectas, semejantes, cuando presentan igual número de nodos y vientres colocados semejantemente, sus números de vibraciones se hallan en razon inversa de las dimensiones homólogas.*

Las varillas encorvadas producen, en igualdad de condiciones, notas más graves que las rectilíneas y los sonidos que enjendran dependen á la vez de su forma y del grado de curvatura. El influjo de esta segunda circunstancia interesa mas especialmente y se reconoce mejor en los diapasones, cuyos modos de vibracion han sido analizados cuidadosamente por Chladni.

Las barras de los diapasones vibran próximamente como las libres por los extremos y presentan por lo ménos dos nodos que se aproximan mas al centro de la curva á medida que ésta es mas cerrada. En ellos nunca se distribuyen los segmentos vibrantes de manera que resulten cuatro vientres y tres nodos como acontece en las varillas rectas. Al primer armónico corresponde un nodo sobre cada rama del diapason; al segundo dos nodos situados en la porcion curva; al tercero dos nodos sobre cada rama y uno en la curvatura; al cuarto dos nodos en cada rama y dos en la base; y al quinto tres sobre cada rama y uno en la base.

En una coleccion de diapasones examinados por M. Helmholtz el número de vibraciones del primer armónico era de 5 á 6 veces mayor que el correspondiente al sonido fundamental. A partir del primer armónico, inclusive, las vibraciones de los subsiguientes son entre sí como los cuadrados de los números 3, 5, 7, 9, etc.; lo cual quiere decir, que las barras de los diapasones ejecutan respectivamente en el mismo tiempo 9, 25, 49, 81, etc., vibraciones. Infíérese de aquí que los armónicos del diapason suben con mayor rapidez que los de las cuerdas; pero en cambio se desvanecen mas pronto alte-

rando menos por su mezcla la pureza del sonido dominante.

La música utiliza el sonido fundamental de ciertas barras libres por los dos extremos, ó fijas solamente por uno de ellos.

El *tímpano* está formado por láminas rectangulares, por lo comun de cristal, que teóricamente deben tener longitudes tales, que sus cuadrados se hallen en razon inversa del número de vibraciones de las notas de la gamma. Van colocadas paralelamente unas á otras sobre dos cordones tirantes, apoyando en ellos por las líneas nodales que corresponden á su sonido fundamental. La caja armónica donde van encerradas tiene en la tapa una abertura longitudinal para poderlas percutir con uno ó dos martillitos de corcho.

La *armónica de Santo Domingo*, que los franceses llaman *claque-bois de los salvajes*, tiene una disposicion análoga, sin más diferencia que las barras son de madera y van ensartadas en dos cuerdas por el plano de los nodos. Aunque los sonidos de este instrumento rudimentario son de corta duracion, tienen un valor musical perfectamente determinado.

En los cursos de física se emplean colecciones de ocho ó de cuatro tablitas que dan distintamente las notas de la gamma y las del acorde perfecto mayor dejándolas caer al suelo una tras otra.

Con tablitas de madera descansando por sus nodos sobre manojos de paja cilindricos se forma otro instrumento, llamado *violin de paja*, que manejado por un artista entendido produce sonidos muy agradables, capaces de combinarse con los de una orquesta. Segun Chladni se introdujo en la ópera de Mozart, *La flauta encantada*, para imitar el toque de las campanas.

Entre los instrumentos fundados en las vibraciones transversales de las varillas rectas, fijas por una extremidad, se encuentran las *cajas de música*. Hállanse, como es sabido, constituidas esencialmente por una especie de peine formado por muchas laminitas paralelas, de acero ó de laton, que son conmovidas por los dientes de

un cilindro que gira mediante una máquina de relojería. Las dimensiones de dichas láminas están calculadas de modo que produzcan las notas de la gamma cromática en distintas octavas.

Los sonidos del *armonium* y del *acordeon* son producidos por lengüetas libres colocadas en el fondo de cavidades que comunican por un lado con el fuelle y por el otro con el aire exterior, mediante aberturas cerradas por una válvula que se abre apoyando los dedos sobre teclas. La impulsión dada á éstas produce el doble efecto de abrir la válvula y poner en acción un martillo, que chocando con la base de la lengüeta, la obliga á vibrar instantáneamente. Estos instrumentos se templan adelgazando con una lima la extremidad libre de las láminas para que el sonido suba, ó la parte próxima á su base cuando se quiere que baje.

Corresponde también á este grupo el llamado *violin de hierro*: consiste en una caja cilíndrica sobre cuya tapa van implantadas varillas de dicho metal de longitudes convenientes para que den la gamma. Se toca haciéndolo girar sobre un mango sujeto con la mano izquierda y aproximando un arco, cogido con la derecha, hasta que roce con las varillas. Para templarlo, llevan éstas un anillo bastante apretado que hace bajar el sonido según se empuja más ó menos hácia la extremidad libre.

El *triángulo* se reduce á una barra cilíndrica de acero sin templar, de la figura á que debe su nombre, con uno de los vértices abierto á fin de que las extremidades queden libres. Suspendido por una de éstas, se percute con una barra también de acero: sus cualidades sonoras dependen, sobre todo, de la multiplicidad de sonidos coexistentes que produce.

---

## LECCION XXVIII.

### VIBRACIONES DE LAS PLACAS Y DE LAS MEMBRANAS:

#### APLICACIONES.

Con el nombre de *placas* se designan los cuerpos rígidos, homogéneos, de mucha superficie con relacion al grueso: las más usadas son de cristal, laton, acero ú otros metales.

Para excitar las vibraciones de las placas se sujetan por uno ó más puntos entre dos tornillos de presion con las puntas revestidas de corcho, frotándolas con un arco por el borde en direccion perpendicular á su plano.

Dispuestas horizontalmente y polvoreando con arena la cara superior, se vé cuando suenan que aquella salta en las partes vibrantes y se acumula en los puntos de reposo formando variados dibujos, llamados *figuras acústicas*: éstas representan las *lineas nodales*, y los espacios que limitan son los *vientres de vibracion*. Una misma placa puede dar sonidos de creciente tonalidad, observándose entonces que las porciones vibrantes van disminuyendo de extension, y por consiguiente las líneas nodales son más numerosas á medida que el sonido es más agudo.

Un hecho mal interpretado hizo creer á Savart equivocadamente que en las placas se formaban, como en las cuerdas, nodos y vientres secundarios: nació su error de haber mezclado con la arena polvo de licopodio, que por ser mas fino se dirigía hácia los vientres donde formaba remolinos en contínuo movimiento. Estudiando M. Faraday este fenómeno con detenimiento comprendió que resultaba de la agitacion comunicada al aire por las sacudidas de la placa en el sitio de los vientres, como lo prueban los tres experimentos siguientes: 1.<sup>o</sup> Una hoji-

lla de papel de oro colocada encima de un vientre se ahueca en forma de ampolla, elevándose algunos milímetros sobre la superficie de la placa. 2.º Disponiendo varias pantallas de modo que intercepten las corrientes del aire, sin tocar á la placa, se aglomeran en otra disposición las partículas de polvo. 3.º En el vacío, la arena y el licopodio se acumulan juntos en las líneas nodales.

La agitacion que sufre el aire por su contacto con los vientres de las placas vibrantes explica un hecho curioso que observó por primera vez M. Guyot. Si se aproxima un pedacito de papel suspendido de un hilo á una campana de cristal que esté sonando, es atraído hasta adherirse á ella; cesando la atraccion en cuanto concluyen las vibraciones, es decir, cuando el aire queda en reposo.

Tres son las leyes á que está subordinado el movimiento vibratorio de las placas.

1.ª *Cuando varias placas de igual superficie presentan las mismas líneas nodales, colocadas en idéntica posición, el número de vibraciones que ejecutan es proporcional á sus espesores.*

2.ª *Teniendo las placas el mismo grueso, los números de vibraciones se hallan en razon inversa de sus respectivas superficies.*

3.ª *Dos placas de igual materia y de volúmenes semejantes verifican en el mismo tiempo números de vibraciones que están en razon inversa de sus dimensiones homólogas, siempre que las líneas nodales ofrezcan en ambas la misma distribución.*

Demuéstranse fácilmente estas leyes por medio de tres placas cuadradas de laton fijas por el centro en sus correspondientes piés montados sobre un zócalo. La mas pequeña tiene el mismo grueso que la mediana y la mitad de superficie, la mayor presenta igual superficie y doble grueso que la intermedia: frotándolas con un arco se observa que la de menor superficie y la de mas grueso dan la octava aguda de su compañera.

La ley de los sonidos sucesivos que puede engendrar una misma placa cuando cambian sus figuras acústicas

no está aun determinada: se sabe, sin embargo, que la nota mas grave de una placa cuadrada, fija por el centro, corresponde á dos líneas nodales que pasan por este punto siendo paralelas á los lados, y que cuando toman la direccion de las diagonales el sonido sube una quinta.

Cada placa puede dar multitud de figuras distintas que se transforman unas en otras de una manera continua cambiando al mismo tiempo el sonido, de lo que se deduce que es capaz de producir un número indeterminado de notas musicales.

Se han estudiado las figuras acústicas en placas cuadradas, triangulares, pentagonales, circulares y elípticas.

Las figuras de las placas cuadradas se dividen en *elementales* y *compuestas*. Las elementales están formadas por líneas paralelas unas veces á los bordes y otras á las diagonales, marcando en ambos casos por su direccion los planos de mayor y menor resistencia á la flexion que presentan las placas. Las figuras compuestas resultan de la combinacion de las simples.

Las figuras correspondientes á los sonidos puros son más fáciles de producir y tienen mayor estabilidad; mientras que las otras son transitorias y fugaces como los sonidos á quienes acompañan.

Las placas circulares presentan tambien dos sistemas de figuras elementales, uno formado por diámetros siempre en número par, y otro por circunferencias concéntricas: de la mezcla de estos resultan las compuestas. Para obtener un sistema concéntrico es preciso sujetar la placa por un punto de su contorno y frotarla con un manojo de crines cubiertas de colofonia que se hace pasar por un agujero practicado en el centro.

Las campanas son placas de superficie curva cuyos nodos y vientres se asemejan á los de las circulares planas. Cuando una campana dá su nota mas grave se divide en cuatro segmentos separados por igual número de líneas nodales extendidas desde el borde hasta el vértice. Donde toca el badajo se forma un vientre, otro en frente de este, y otros dos á 90°; correspondien-

do los nodos al punto medio entre estos; lo cual se explica por las deformaciones alternativas, diametralmente opuestas, que experimenta la campana por efecto de su elasticidad, á partir del momento del choque.

El número de vibraciones que una campana ejecuta es directamente proporcional al cuadrado de su espesor y se halla en razon inversa de su diámetro. Siendo muy delgada crece tanto la tendencia á la subdivision en segmentos que con dificultad puede obtenerse el sonido fundamental perfectamente aislado de todos sus armónicos.

Los *platillos*, usados en las bandas militares y alguna vez en las orquestas, son placas circulares formadas de una liga de cobre y estaño que se hacen sonar chocándolos uno contra otro. Su timbre especial resulta de las vibraciones irregulares de la parte plana mezcladas con un sonido muy agudo procedente del aire contenido en una cavidad hemisférica que hay en el centro: este último desaparece cerrando con un papel el agujero central.

Los mejores platillos, llamados *turcos* por su procedencia, tienen algo de particular en su temple que no ha podido imitarse en Francia; pues los que en esta nacion se fabrican por la iriciativa de M. Arcet, son de inferior calidad.

El *tamtam* ó *gong* de los chinos consiste tambien en una placa redonda con el borde doblado. El metal que los constituye no solo está templado sino batido despues á martillo, de modo que la placa adquiere una elasticidad forzada por el estado de compresion en que el borde mantiene á las moléculas. Se usa percutiéndolo oblicuamente con un martillo de madera guarnecido de piel, y dá sonidos múltiples que estallan como por explosion, siendo sus vibraciones lentas y continuas. Este instrumento es originario de la India y solo tiene aplicacion en la música dramática por su efecto lúgubre y sombrío.

Las *campanas*, cuyo modo de vibracion queda expuesto, se fabrican de bronce, dependiendo la gran sonoridad que las distingue de la combinacion de muchos

armónicos con una série continua de pulsaciones. Fuera de algun caso muy especial, la música no saca partido de ellas, pues las piezas que los llamados *campanólogos* han solido ejecutar en los teatros, carecen por completo de expresion y mas que mérito artístico dejan admirar el grado de agilidad y precision de los que las manejan.

Las campanas de gran tamaño empleadas en las iglesias pueden acomodarse dentro de ciertos límites á las reglas del arte, como de ello ofrece una prueba la coleccion que corona la Giralda de Sevilla. La mas grande de cuantas se conocen es la de Moscou, que pesa cerca de 2.300 quintales, próximamente la mitad que otra fundida en 1736, que se rompió antes de poder servir: el bordon de la iglesia de Nuestra Señora de París pesa mas de 14 toneladas.

La *armónica de Franklin* se forma con una série de copas ó vasos de cristal, de diferentes tamaños, que se hacen sonar frotando el borde con los dedos mojados, y se templan vertiendo más ó ménos agua en su interior. Los sonidos de la armónica poseen un timbre penetrante y lleno de expresion, cuyo efecto es muy agradable en combinacion con la orquesta.

Las *membranas* que se utilizan para las investigaciones físicas son de piel ó vejiga muy delgadas, de papel vegetal y mejor aún de papel comun. Cualquiera que sea la sustancia elegida se pega al borde de un bastidorcito de madera, cuidando mucho de estirla por igual en todos sentidos. Para explorar sus modos de vibracion se polvorea con arena la cara superior y se coloca cerca de un tubo de órgano que suene con fuerza.

El movimiento vibratorio de las membranas ha sido estudiado con gran minuciosidad por MM. Savart, Poisson, Lamé, Bourget y Bernard, de cuyos trabajos se deducen las siguientes leyes:

MEMBRANAS CUADRADAS. 1.<sup>a</sup> ley. *Una membrana cuadrada vibra al unisono de multitud de sonidos de tonalidad distinta; pero no puede pasar de una division nodal á otra cualquiera de un modo continuo, aunque varíe el tono por grados insensibles.*

2.<sup>a</sup> Llamando 1 al sonido fundamental, los sucesivos mas altos que con la misma membrana se pueden obtener corresponden á los números 1,6 ,, 2 ,, 2,2 ,, 2,5 ,, 2,9 ,, 3, etc., es decir á un sistema particular de armónicos que no le permiten vibrar al unisono con todas las notas.

3.<sup>a</sup> Las líneas nodales son paralelas á los lados, correspondiendo cada sonido á un sistema más ó ménos complicado dependiente del mismo tipo; sin que nunca por deformaciones intermedias, se consiga hacer derivar una de otra dos figuras acústicas pertenecientes á notas musicales distintas.

MEMBRANAS CIRCULARES. 1.<sup>a</sup> ley. Las figuras nodales de una membrana circular están formadas siempre por círculos concéntricos, diámetros equidistantés, ó por unos y otros á la vez; dependiendo cada modo de division de un sonido determinado.

2.<sup>a</sup> Los diversos sonidos posibles de las membranas circulares forman una série muy complicada, corresponden á los casos en que vibran totalmente y sus números de vibraciones son todos incomensurables.

Entre los instrumentos de música de que forman parte las membranas, merecen citarse especialmente *los timbales* y *el tambor*. Los primeros están constituidos por dos hemisferios huecos de metal, uno algo mayor que el otro, cubiertos por una piel sujeta sobre el borde mediante un aro apretado con tornillos: se templan generalmente en quinta y se hieren con dos palillos forrados de piel. Figuran en las orquestas, usándose principalmente en las sinfonías y piezas de grande efecto.

Los timbales, importados á Europa por los sarracenos, fueron empleados al principio en muchos cuerpos de caballería y todavía los usa la Guardia imperial de Rusia, y las de algunos príncipes alemanes.

El tambor consta de una caja cilíndrica de madera ó de metal, cerrada en sus extremos por dos pieles, llamadas *parches*, que se ajustan y estiran por medio de dos aros enlazados por cuerdas, y se hace sonar percutiendo el superior con dos palillos ó *baquetas*. El aire contenido en el cilindro trasmite las vibraciones al par-

che inferior, el cual debe ser mas delgado si ha de aumentar la intensidad del sonido.

El timbre ruidoso del tambor militar es producido por dos cuerdas de tripa tendidas sobre el parche inferior que se estiran convenientemente por medio de tornillos de traccion.

El *bombo* y el *redoblante* de las bandas de música son esencialmente tambores sin el accesorio de estas cuerdas.

La *pandereta*, que tan apropósito es para caracterizar ciertos aires populares, tiene tambien membrana; pero ésta, mas que para producir verdaderos sonidos sirve para transmitir sincrónicamente sacudidas á las sonajas y cascabeles que se le agregan.

## LECCION XXIX.

### SONORIDAD É IMPRESIONABILIDAD DE LAS LLAMAS.

---

La corriente gaseosa que fluye por un orificio sufre intermitencias ó pulsaciones con marcada tendencia á regularizar su marcha. Si por cualquier medio se consigue imprimir un ritmo uniforme á las pulsaciones, se obtendrá un movimiento vibratorio con las condiciones que han de acompañar al sonido, y por consiguiente el sonido mismo.

Así sucede que la conmocion del aire encerrado en un tubo que contenga un mechero de gas inflamado engendra en la llama sonidos musicales, cuyo tono depende de las dimensiones de esta y más particularmente de la capacidad del tubo que la rodea.

El influjo de la primera circunstancia se hace patente preparando dos llamas de manera que produzcan notas perfectamente unísonas y modificando despues algun tanto el tamaño de una de ellas: inmediatamente aparecen pulsaciones que revelan la diferencia de tono. Haciendo variar en la debida proporcion las dimensio-

nes de una llama se pueden obtener con ella los armónicos 1, 2, 3, 4... del tubo envolvente: en esta experiencia debe emplearse el hidrógeno por ser su combustión más activa que la del gas del alumbrado.

Para apreciar la influencia particular de los tubos se elijen dos de doble longitud uno que el otro, notándose que en este caso dan sonidos á la octava.

La sonoridad de las llamas es conocida hace más de un siglo; pero exceptuando algunas investigaciones debidas á Chladni, De Luc, Rijke, Kundt, De la Rive y Faraday, los descubrimientos de verdadera importancia sobre este punto datan de 1857 en que el Conde de Schaffgostch y M. Tyndall, cada cual por su parte y casi al mismo tiempo, emprendieron una série de importantes trabajos que han enriquecido la Acústica con una nueva seccion sumamente curiosa é interesante.

La experiencia que condujo á M. Schaffgostch al descubrimiento de la sonoridad simpática de las llamas fué hecha del modo siguiente.

Colocó una pequeña llama de gas dentro de un tubo ancho, de 28 centímetros de longitud, habiendo determinado previamente el tono del sonido que éste podía dar. Cuando la llama ardía tranquila, cantó á cierta distancia la nota de dicho tono y en el mismo instante empezó aquella á temblar: habiendo esforzado más la voz se apagó repentinamente.

Para que este experimento salga bien es indispensable que la boquilla del mechero sea muy estrecha y la corriente del gas bastante rápida.

La causa del estremecimiento ó agitacion de la llama reside en las pulsaciones, como lo ha demostrado M. Tyndall modificando el procedimiento de que se valió M. Schaffgostch.

Cerca de una llama sonora montó sobre el fuelle acústico la sirena, haciendo subir gradualmente su tono: al aproximarse al del tubo se oían las pulsaciones y entonces empezaba la llama á saltar sincrónicamente con ellas. Las sacudidas se hacían más lentas cerca del unísono, cesaban por completo cuando este era perfecto, y reaparecían con mayor rapidez cuando el tono de la sirena era más agudo que el del tubo.

La exacta coincidencia de las pulsaciones y los saltos de la llama se percibe muy bien por medio de un diapason arreglado al tono de ésta. Pegando á una de sus ramas un pedacito de cera, á fin de que retarde sus vibraciones y lo separe algo del unísono, se aproxima al tubo que contiene la llama sonora despues de haberla excitado, notándose entonces que las sacudidas y las pulsaciones son perfectamente simultáneas: el efecto es mayor estando el diapason atornillado á una caja de resonancia.

Si se modifica la carga del diapason ó se varían ligeramente las dimensiones de la llama, aumenta ó disminuye á voluntad la duracion y el número de pulsaciones, pero no desaparece el sincronismo.

Conocidos estos hechos que explican cómo se establece la solidaridad entre las llamas y los sonidos exteriores, vamos á reasumir las principales experiencias verificadas por M. Tyndall con las llamas cantantes.

Desde luego puede establecerse como principio general que la voz humana hace cantar una llama silenciosa siempre que produzca la misma nota que el tubo que la rodea.

Hé aquí los hechos.

Introduciendo una llama en un tubo de 30 centímetros de largo, de modo que se halle cerca del borde inferior, y emitiendo la nota conveniente, se vé que aquella tiembla pero no llega á cantar. Si se baja el tubo algunos centímetros estalla de pronto el sonido: en una posicion intermedia á estas dos la llama no rompe espontáneamente el silencio, pero excitada por la voz prorrumpe en un canto continuado. En esta situacion particular posee la aptitud para cantar, aunque necesita, por decirlo así, que se la invite.

En efecto, una persona distante cinco ó seis metros de una llama silenciosa puede á su capricho hacerla cantar produciendo con su voz ó con un instrumento de música la nota adecuada. Más aun; si un ayudante interrumpe por intervalos el canto acercando momentáneamente un dedo á la boca inferior del tubo, se puede

establecer entre la llama y el experimentador una especie de diálogo sonoro, sin que nunca deje esta de contestar á la voz de su interlocutor.

Ante tres llamas envueltas en tubos de 25, 30 y 35 centímetros se hace actuar la sirena: en cuanto su sonido se pone al unísono con cada tubo, rompe el canto la llama que contiene. De esta suerte, un músico podría con la mayor facilidad dar voz á las llamas de siete tubos arreglados á las notas de la gamma, entonando la escala á la distancia de 20 á 30 metros. Conviene añadir que con alguna práctica puede el cantor, modulando la voz con arte, hacer tambien enmudecer al inanimado coro.

Bajo el poder del ingenio de M. Tyndall han sido las llamas tan complacientes que se han invitado á cantar unas á otras. Para conseguir este brillante resultado dispone dos pequeñas llamas separadas por la distancia de un metro, envueltas en tubos de 26 y 30 centímetros respectivamente, y en la parte superior del más corto ajusta un cilindro de papel de modo que pueda bajar ó subir á fin de modificar su tono cual convenga. Excitado el canto en una de ellas, la otra permanece silenciosa, pero elevando ó bajando con precaucion el tubo de papel llega un momento en que responde á su compañera, entonando las dos un peregrino duo.

LLAMAS SENSIBLES Ó SIMPÁTICAS.— Las llamas gaseosas desnudas, ó desprovistas de tubos resonadores, pierden la aptitud para producir sonidos. En este supuesto parece que no debiéramos ocuparnos de ellas; pero son tan originales los fenómenos que presentan y se hallan tan enlazados en su origen con los de las llamas sonoras, que hemos creído oportuno dar una idea, siquiera sea ligera, de sus notables cualidades.

Ante todo conviene consignar que las llamas no se hacen sensibles sino desde el momento en que la salida del gas está próxima á producir un murmullo ó ligero ronquido, circunstancia que fué descubierta por el Doctor Leconte. Posteriormente averiguó M. Tyndall, despues de muchos ensayos, que para sensibilizar pronto y

con más seguridad las llamas debe abrirse totalmente la llave de los mecheros y arreglar la salida del gas modificando la presión.

Para que los hechos no pierdan por ningún concepto el carácter de originalidad que los distingue, hemos creído preferible traducir casi literalmente varios trozos de las explicaciones de este insigne físico.

"Hé aquí, dice, una llama en forma de cola de pescado que sale por un mechero ordinario. Bien se puede cantar en su inmediación variando la entonación de la voz sin provocar en ella el menor estremecimiento: empléense, si se quiere, tubos de órgano, diapasones, campanas, cornetas; el resultado será nulo. Abrase enteramente la llave, poniendo después la llama á punto de principiar el ronquido y en el momento que suena un silbato á propósito toma un aspecto extraordinario. Aparece dividida en siete lenguas ó largos dientes temblorosos, el central de doble longitud que los otros, manteniéndose en el mismo estado mientras dura el silbido: en cuanto éste cesa recobra su forma primitiva y queda tranquila."

"Observad esta otra llama de cuarenta y cinco centímetros de altura que humea abundantemente: desde que se silba, queda reducida á la mitad, desaparece el humo y aumenta su brillo."

"Segun las circunstancias, puede una llama larga acortarse ó una pequeña alargarse bajo el influjo de las vibraciones sonoras. Estas dos llamas, por ejemplo, que salen de boquillas informes de estaño, la una es larga, estrecha y fuliginosa; la otra corta, bifurcada y brillante. Al sonar el silbato la más larga se acorta, se bifurca y adquiere brillantez, al paso que la otra se prolonga y desprende humo: puede decirse que en sus contestaciones al sonido del silbato una llama es en cierto modo el complemento de la otra."

"Las vibraciones sonoras son capaces también de producir la rotación de las llamas: el sonido de un pito las hace girar hasta 90° sobre sí mismas."

"Para apreciar perfectamente el tránsito de la apatía

á la sensibilidad sirve un mechero de hierro ordinario, pero es preciso someter el gas á una presión considerable. La llama empieza por tener una altura de diez centímetros y se muestra indiferente al sonido: aumentando la presión, crece hasta quince centímetros y continúa en el mismo estado. Al llegar á veinte centímetros responde al silbato con un temblor apenas perceptible; elevándola á cuarenta centímetros salta vivamente en el momento que este suena, y cuando llega á cincuenta centímetros un estremecimiento intermitente anuncia que se halla próxima á roncar. A poco que se esfuerce la presión empieza el ronquido y desciende á veinte centímetros: si se disminuye esta algún tanto recupera la longitud de medio metro, quedando dispuesta á roncar y acortarse de nuevo. El sonido del silbato ejerce sobre ella el mismo influjo que un aumento de presión. El gas sufre un rozamiento al pasar por la boquilla, y este rozamiento, si la velocidad es bastante grande, basta para imprimir á la corriente el movimiento vibratorio que es la causa del sonido.”

”Todos los sonidos no obran sobre la llama con igual energía: son necesarios períodos determinados de ondas para producir el máximo efecto. Los más eficaces son aquellos que se hallan en perfecto sincronismo con las ondas engendradas por el rozamiento del gas contra las paredes de la boquilla.”

”La más maravillosa de las llamas observadas hasta ahora es la que presento á vuestra vista: sale del orificio de un mechero de esteatita y se eleva á la altura de sesenta centímetros. El golpe más ligero dado sobre un yunque, á gran distancia, la reduce á ménos de la tercera parte. Las sacudidas comunicadas á un manajo de llaves la agitan violentamente y ronca con mucha fuerza. A la distancia de veinte metros, el choque de dos monedas la hace bajar; el ruido de los pasos la intranquiliza; el crujido de las botas, el acto de desgarrar un papel, ó el frote de una tela de seda la conmueven tumultuosamente; la caída de una gota de agua la sobresalta.

Cada oscilacion del volante de un reloj de bolsillo la obliga á contraerse, y si el movimiento es muy rápido experimenta precipitadas conmociones: el canto lejano de un gorrion basta para encojerla.”

”Yo declamo ahora un pasaje de Orestes, de Racine, y la llama, como veis, hace una especie de eleccion de los sonidos emitidos por mi voz: á unos responde solamente con una inclinacion de cabeza, á otros con una reverencia, á otros con un profundo saludo y para muchos de ellos no parece tener oidos.”

### LECCION XXX.

#### ORGANO DE LA VOZ: TEORÍA DE LA FONACION.

---

El órgano de la voz humana es capaz de producir muy diversos matices de tono que le hacen apto para expresar toda clase de sentimientos con un grado de perfeccion que no alcanzan nunca los instrumentos artificiales.

En el aparato de la fonacion se pueden distinguir tres partes: la *laringe* ú órgano esencial de la voz; los *pulmones* que desempeñan el papel de los fuelles; y la *garganta*, la *boca* y las *fosas nasales*, cuyo conjunto hace las veces de caja resonadora.

La laringe ocupa la region anterior del cuello, donde forma la prominencia conocida con el nombre de *nuez*, ó *bocado de Adan*, está unida por arriba al hueso *hioides* y se continúa por abajo con la *traquea*, que es un tubo cartilaginoso formado de anillos incompletos unidos por sus bordes y destinado á dar paso al viento procedente de los pulmones.

La experiencia ha demostrado que el sonido se engendra exclusivamente en la laringe: las personas que por accidente, ó como consecuencia de una operacion quirúrgica, tienen perforada la traquea no pueden hablar sino tapando la abertura para que el aire penetre

en la laringe; pero si la perforacion se halla por encima de ésta, es posible la emision de los sonidos.

La laringe está compuesta de cuatro ternillas ó *cartílagos* de cuya union resulta una capacidad irregularmente prismática. Por delante y por los lados la limita el cartílago *tiroides*, que es el mayor de todos; el cartílago *cricoides*, de figura anular, forma la parte inferior y la cara posterior, y los dos *aritenoides*, pequeños y proximalmente triangulares, están implantados uno junto á otro en el borde libre del anterior. Hay además otra lámina cartilaginosa encorvada, llamada *epiglotis*, que se aplica sobre la abertura superior de la laringe en el acto de tragar, evitando así que los alimentos ó las bebidas penetran en su interior, lo que produciria la sofocacion: todos los cartílagos laríngeos se hallan articulados entre sí de modo que pueden moverse por la accion de músculos especiales.

En el interior de la laringe se encuentran, á uno y otro lado, cuatro repliegues membranosos horizontales, unidos por su contorno á los cartílagos y con un borde libre mirando hácia adentro, dirigido de delante atrás. Estos repliegues están pareados, es decir, dos encima de los otros dos, y dejan entre los bordes que se corresponden dos hendiduras sobrepuestas que constituyen la abertura de la *glotis*: el espacio que media entre los dos repliegues de cada lado se llama *ventrículo*. Por último, los dos repliegues más altos se distinguen con el nombre de *ligamentos superiores* y los dos más bajos con el de *ligamentos inferiores* ó mejor *cuerdas vocales*.

Las extremidades posteriores de las cuerdas vocales van fijas á los cartílagos aritenoides, los cuales, movidos por los músculos, las estiran ó relajan, haciendo variar al mismo tiempo la abertura de la glotis, principalmente en su tercio posterior que pueden cerrar por completo.

El mecanismo de la fonacion se ha explicado de distintas maneras. Unos, siguiendo á Ferrein, consideran la laringe como un instrumento de cuerda en que el aire rozando los ligamentos hace las veces de arco; otros mu-

chos, con Dodart, la comparan con los instrumentos de viento: M. Cuvier opina que las cuerdas vocales vibran del mismo modo que los labios dentro de la boquilla de una corneta.

Savart formuló una hipótesis en la cual compara la laringe con un *reclamo*, instrumento muy conocido de los cazadores, que consiste en un tamborcito con dos agujeros en el centro de las caras planas. Si se sopla por estas aberturas se produce un sonido cuyo tono varía según la velocidad del viento y la magnitud de los orificios, influyendo también en esto la naturaleza y flexibilidad de las paredes. Según el citado físico, la corriente del aire al atravesar el reclamo arrastra ante sí parte del mismo fluido contenido en su interior, disminuyendo por consiguiente la fuerza elástica del restante. Este desequilibrio de presión atrae entonces al aire atmosférico que, interceptando por intervalos con rapidez la corriente, dá origen al sonido. Admitida la analogía entre el modo de funcionar del reclamo y la laringe, las modulaciones de la voz resultarían de la fuerza del viento, al par que de la separación de los ligamentos superiores é inferiores.

Esta explicación no puede aceptarse porque, como vamos á ver, la laringe produce sonidos aun cuando no existan los ligamentos superiores.

Lo cierto es que la laringe tiene condiciones muy distintas de las de todos los instrumentos conocidos.

Hoy se conviene en admitir que las cuerdas vocales vibran como lengüetas membranosas movidas por la corriente de aire que llega de los pulmones, engendrándose la voz en el acto de la espiración.

Magendie y otros fisiólogos demostraron que la ablación de los ligamentos superiores, de la epiglotis y hasta de la parte superior de los cartílagos aritenoides no impedía la formación de los sonidos; lo cual está conforme con el hecho de que los rumiantes carecen de dichos ligamentos y de ventrículos, y sin embargo tienen voz.

Por el contrario, la alteración de las cuerdas vocales ó la lesión de los nervios que excitan las contracciones de los músculos laríngeos producen la afonía.

El eminente profesor de Anatomía comparada J. Muller, ha desenvuelto la teoría moderna confirmándola con numerosas experiencias, una de las cuales vamos á exponer. Fijó sobre una tablilla la laringe de un cadáver humano despues de haber separado todas las partes situadas por encima de los ligamentos inferiores y sujetó con un gancho un cordon en el ángulo del cartílago tiroides sobre las cuerdas vocales: el cordon pasaba por una polea y sostenia un platillo de balanza donde se colocaban pesas para atraer el cartílago y por su intermedio estirar las cuerdas vocales. Un tubo de madera ajustado á la traquea servia para soplar.

Con este aparato observó los hechos siguientes:

1.º Cuando la glotis es bastante estrecha y los ligamentos se hallan tirantes, se obtienen sonidos llenos y puros, muy parecidos á los de la voz natural.

2.º Cambiando la tension de las cuerdas vocales, los sonidos de la laringe, así preparada, van subiendo en proporcion al grado de tirantez y llegan á abarcar próximamente dos octavas: estirándolas demasiado se hacen aquellos sibilantes y desagradables.

3.º Estando flojas las cuerdas vocales, la intensidad del sonido depende de la separacion de sus bordes y llega á alcanzar la mayor fuerza posible cuando estos se tocan.

4.º A igualdad de tension de las cuerdas vocales, el aumento de presion ejercido en el aire puede elevar el tono mas de una quinta.

5.º Las partes de la laringe situadas por encima de las cuerdas vocales obran al modo de los cornetes acústicos en los tubos sonoros de lengüeta.

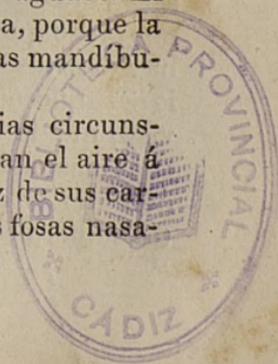
C. Matteucci dice haber visto en el gabinete de física del Colegio Real de Londres una laringe de caoutchouc, modelada sobre otra natural, á cuyas distintas piezas estaban unidos varios hilos: tirando de estos más ó ménos y modificando al mismo tiempo la corriente de aire que se hacia pasar por la glotis artificial resultaban sonidos semejantes en timbre y claridad á los de la voz humana.

Se ha observado que las dos mitades de la hendidura que constituye la glotis funcionan con cierta independencia. Mientras se respira únicamente, el aire pasa por la parte posterior; pero en el acto de la producción del sonido se cierra esta por efecto de la unión de los cartílagos aritenoides, lo cual no obsta para que puedan también producirse sonidos hallándose entreabierta. Así lo han demostrado las observaciones verificadas por el Sr. Mayo en un hombre que se había dado un corte en el cuello casi al nivel de las cuerdas vocales: su glotis se presentaba lineal cuando pretendía hablar; y triangular, ó sea abierta por la porción posterior, si solamente respiraba.

Las investigaciones de M. Longet confirman la opinión de M. Muller respecto á los efectos acústicos de las partes colocadas más arriba de los ligamentos inferiores. Los ventrículos hacen las veces de tubos de refuerzo, cuya capacidad varía por el movimiento de los ligamentos superiores. El espacio comprendido entre estos y la cara inferior de la epiglotis cambia también considerablemente por efecto de los movimientos verticales de la laringe, fáciles de apreciar poniendo los dedos sobre la nuez al tiempo de cantar. Siéntese de este modo que sube en los sonidos agudos y baja en los graves.

Las fosas nasales y la boca ejercen funciones análogas: cantando delante de un espejo se vé que en los sonidos altos la lengua se aproxima á la bóveda del paladar, disminuyendo la cavidad bucal; mientras que en los graves desciende más ó ménos. El velo del paladar contribuye al mismo resultado, avanzando hácia adelante cuando se emiten sonidos bajos y dirigiéndose hácia atrás y arriba durante la emisión de los agudos. El tono no cambia abriendo más ó ménos la boca, porque la lengua baja cuando crece la separación de las mandíbulas y sube en el caso contrario.

En la intensidad de la voz influyen varias circunstancias: la fuerza con que los pulmones envían el aire á la laringe, las dimensiones de esta, la solidez de sus cartílagos, y la capacidad de la garganta, de las fosas nasa-



les y de la boca. La sonoridad se halla en proporcion de la cantidad de aire comprendida en las cavidades supra-laríngeas y de la abertura de la boca y de las narices. El conocimiento práctico de este hecho ha inducido á muchos cantantes á hacerse estirpar las amígdalas para aumentar la fuerza de su voz. Los pulmones y la cavidad del pecho concurren al mismo efecto vibrando al unísono con la glotis.

El timbre de la voz es debido en gran parte á las condiciones que afectan las cavidades que se hallan en comunicacion con la laringe. Así sucede, que apretando entre los dedos las narices, ó estando por cualquier causa obstruidas las fosas nasales, se pone la voz gangosa: lo mismo acontece, aunque las narices estén espedidas, si se eleva la laringe aproximando al mismo tiempo la base de la lengua á la bóveda palatina.

Los cambios de timbre son debidos tambien á las modificaciones que experimentan los cartílagos y los ligamentos. Segun la opinion de Helmholtz, la alteracion de la voz en los resfriados proviene de los filamentos de mucosidad que se adhieren á los bordes de la glotis, como es fácil convencerse de ello empleando el laringoscopio. La falta de secrecion mucosa en la cara superior de las cuerdas vocales hace á estas mas ligeras, y es causa de que las personas que la sufren no puedan gritar mas que en voz muy chillona. Cuando los cartílagos laríngeos están engrosados ú osificados la voz es dura y áspera, al paso que en los niños y en las mujeres se presenta dulce y suave por la mayor flexibilidad de sus cartílagos.

Por algun tiempo se creyó que la voz aguda de falsete era continuacion de la de pecho; pero hoy está demostrado que se forma de distinto modo; no solo porque hay artistas que producen alternativamente sonidos de igual tono con ambas voces, sino porque además se ha visto que la disposicion de los cartílagos es diferente en cada caso. Mientras se produce la voz de falsete el borde anterior del cricoides se eleva mucho y los ligamentos superiores se aproximan y se extiran fuertemente,

resultando un efecto parecido al que se nota en los tubos de lengüeta cuando se montan sobre porta-vientos de diversas formas.

Resulta, en conclusion, que el órgano de la voz humana aventaja á todos los instrumentos de música en la prontitud y precision con que cambia la tirantez de sus lengüetas vibrantes, en la concordante rapidez con que se modifica la abertura que dá paso al viento, y en la resonancia electiva, siempre sincrónica, de la caja de refuerzo representada por el pecho, la garganta, las fosas nasales y la boca.

## LECCION XXXI.

### ORGANO DEL OIDO: TEORÍA DE LA AUDICION.

---

El aparato auditivo humano es bastante complicado y doble como el de la vista, para garantizar la apreciacion de las importantísimas sensaciones que por su medio adquirimos.

Para su estudio anatómico se divide en tres partes: *oído externo, oído medio y oído interno.*

El *oído externo* se compone del *pabellon de la oreja* y del *conducto auditivo externo*. La oreja tiene una figura vagamente comparable con una elipse, está más ó ménos desviada de la cabeza, y presenta en su superficie varias eminencias y depresiones en torno de una concavidad llamada *concha de la oreja*. En la parte anterior del fondo de esta se halla el *conducto auditivo externo*, dirigido hácia el interior de la cabeza y cerrado en su fondo por la *membrana del tímpano* que lo separa del oído medio.

El *oído medio*, conocido tambien con los nombres de *caja del tímpano, ó del tambor*, consiste en una capacidad de forma irregular, escavada en el hueso temporal, con varias aberturas en su contorno: una en la pared externa á la que se adapta la membrana del tímpano; dos

más pequeñas en la cara opuesta, llamadas por su figura *ventana oval* y *ventana redonda*, ambas cubiertas también por una membranita; otra anterior abierta, que comunica con la garganta mediante un conducto llamado *trompa de Eustaquio*; y otra, por último, más diminuta que establece comunicacion entre la caja del tímpano y las células, ó grandes poros, que hay en la masa del mismo hueso.

Dentro del oído medio se hallan cuatro huesecitos enlazados formando una cadena dirigida de fuera á dentro, denominados por analogía de forma *martillo*, *yunque*, *lenticular* y *estribo*. El martillo va adherido por el mango á la cara interna de la membrana del tímpano y el estribo aplicado por su base á la que cierra la ventana oval: cada uno de estos dá insercion á un pequeño músculo que sirve para moverlo.

El *oído interno*, llamado *laberinto* por su complicacion, se compone de varias cavidades alojadas en la porcion petrosa del hueso temporal. Estas son: 1.º El *vestíbulo* que ocupa el centro y comunica con la caja del tambor por la ventana redonda. 2.º Los tres *canales semicirculares* que desembocan en el vestíbulo. 3.º El *caracol*, pequeña cavidad de la forma que su nombre indica, cuyo interior está dividido por un tabique en dos conductos que se unen por un extremo de la hélice, y por el opuesto terminan el uno en el vestíbulo y el otro en la caja del tambor por la ventana redonda.

El laberinto se halla casi totalmente revestido en su interior por un tejido blando que ha recibido el nombre de *laberinto membranoso*: entre éste y la superficie huesosa hay en los canales semicirculares y en el vestíbulo un líquido acuoso llamado *linfa de Cotugno*, y dentro de aquellos una materia semi-fluida á la cual dió Breschet el nombre de *vitrina*, donde flotan las últimas ramificaciones del nervio acústico. Este nervio penetra en el laberinto por el *conducto auditivo interno*, dividiéndose en cuatro ramas: la que es prolongacion del tronco se sumerge en el caracol, y de las otras tres una se dirige al vestíbulo y las restantes entran en los canales semicirculares.

Entre las fibras terminales del nervio acústico nacen unos filamentos muy finos, ó *sedas*, cuyo descubrimiento es debido á M. Schultz; en la masa de los ramitos nerviosos se han encontrado además unas pequeñas partículas cristalinas designadas con el nombre de *otolitos*. Por último, recientemente ha descubierto M. Corti en el laberinto una multitud de hilos, ó *fibras microscópicas* de distinta longitud, cuyo número asciende á tres mil, segun la opinion de M. Kolliker.

Expuesta, aunque someramente, la composicion anatómica del oido humano, vamos á estudiar el modo cómo cada una de sus partes contribuye al resultado final de la audicion.

Si además de tener en cuenta la configuracion y estructura de la oreja humana, se fija la atencion en la forma, dimensiones y movilidad del mismo órgano en algunos animales muy conocidos, como el perro, el caballo, la liebre, etc., se adquiere la evidencia de que el pabellon está destinado á encauzar las ondas sonoras por medio de reflexiones múltiples hácia el interior del conducto auditivo externo. El hombre, que no posee la facultad de mover las orejas, se vé obligado para oir mejor á dirigir el pabellon hácia el punto de donde el sonido procede, y á suplir en ciertos casos la pequeñez relativa de aquel aplicando á su alrededor la palma de la mano. Buchanan comprobó que las personas cuyas orejas se hallan más desviadas hácia adelante tenian el oido muy fino.

El *conducto auditivo externo* conduce las ondas sonoras hasta la membrana del tímpano, reforzando á la vez el sonido. Este efecto puede uno apreciarlo en sí mismo muy fácilmente, cantando con la boca cerrada y tapándose los oidos con un dedo. El aumento de sonoridad que se percibe depende de que el aire alojado en el conducto auditivo vibra al unísono con la membrana del tímpano, que ha sido conmovida por el aire de la caja, cuyas vibraciones son provocadas por el que está contenido en la garganta á través de la trompa de Eustaquio. A pesar de esto, el oido externo es la parte menos im-

portante del aparato auditivo, pues su falta disminuye poco la facultad perceptiva.

La *membrana del tímpano* trasmite las vibraciones del aire exterior hasta el laberinto, á través de la caja del tambor de dos modos al mismo tiempo: conmoviendo directamente la cadena de huesecillos, el último de los cuales, ó sea el estribo, sabemos que está aplicado sobre la ventana oval; y por el intermedio del aire que llena la caja, el cual excita las vibraciones de la membranita que cierra la ventana redonda.

La *trompa de Eustaquio* sirve para mantener el equilibrio de presión entre el aire interior y el de la atmósfera, sin cuya circunstancia la audición se haría muy difícil y hasta imposible por momentos. Dos experiencias fáciles de ejecutar lo demuestran bastante bien. Teniendo la boca cerrada y tapadas las narices, se hace un esfuerzo sostenido como para espeler de los pulmones el aire, hasta conseguir que una pequeña porción de él penetre por la trompa: cuando esto llega á suceder se oyen los sonidos agudos, pero los graves son muy poco perceptibles. Este estado de sordera parcial subsiste por algún tiempo, desapareciendo súbitamente si se contraen los músculos de la garganta como en el acto de tragar, porque de este modo se dilata la abertura faríngea de la trompa y el aire de la caja recobra su tensión natural. El estornudo produce en algunas ocasiones y por igual motivo una sordera momentánea.

El otro experimento dá igual resultado por una causa inversa, ó sea el enrarecimiento del aire de la caja del tímpano: con las narices y la boca cerradas, como en el caso anterior, se hace una profunda inspiración, con lo cual se logra el mismo entorpecimiento de oído, que entonces resulta de haber salido por la trompa una pequeña cantidad de aire.

La membrana del tímpano concentra sobre los huesecillos las vibraciones que recibe en toda su superficie; por esto estableció M. Cuvier la regla de que el oído era más fino cuanto mas extensión ofrecía aquella, ó estaba mas inclinada. Sin embargo, las vibraciones no

pueden ser eficaces sino á condicion de que se verifiquen al unísono de cada sonido en particular, y las membranas hemos visto que no tienen por sí solas esta propiedad de un modo absoluto.

Para corregir este defecto sirve principalmente el músculo del martillo, que en virtud de sus contracciones apoya más ó ménos sobre ella el mango, comunicándole un grado de tension variable y en armonia con el tono de los sonidos que se escuchan: la idea de las funciones de este músculo fué indicada bajo diferentes conceptos por MM. Bichat y Longet. Las contracciones de dicho músculo se efectúan sin que tengamos conciencia de ello; pero consta, como caso raro, que M. Muller y Fabricio las podian provocar á voluntad produciendo en el fondo del conducto auricular una especie de chasquido que se percibia á corta distancia.

De aquí nace la diferencia que existe entre *escuchar* y *oir* bajo el punto de vista de la sensacion. Cuando se oye, sin prestar atencion, las ondas impresionan débilmente al nervio acústico, porque el martillo no apoya con una fuerza proporcionada sobre la membrana del tímpano: esta se halla, por decirlo así, desprevenida y las vibraciones se trasmiten únicamente por el aire de la caja á la ventana redonda, como sucede durante el sueño.

Por el contrario, la persona que escucha pone instintivamente en accion los músculos del martillo y del estribo, templa sus respectivas membranas, y las vibraciones pasan por la cadena de huesecillos á la ventana oval. Solo así se aprecian bien los sonidos, por más que en el primer caso se pueda adquirir alguna nocion de sus cualidades, á causa de la solidaridad con que funcionan todas las partes del oido interno.

Pudiera decirse que *se oye* con el caracol por el aire de la caja del tímpano y la ventana redonda; y *se escucha* con el vestíbulo y los canales semicirculares por la cadena de los huesecillos. En apoyo de este modo de ver citaremos, entre otros hechos, los siguientes: 1.º La destruccion del caracol no modifica sensiblemente la facultad de apreciar con exactitud los sonidos. 2.º Las aves

canoras de oído más delicado tienen un caracol muy incompleto. 3.º Según las observaciones de M. Fluorens, toda alteración material de los canales semicirculares hace confusa la audición. 4.º M. Michel ha encontrado en estado normal todo el aparato auditivo de un sordo de nacimiento, menos los canales, que presentaban un desarrollo incompleto.

Los huesecillos del oído además de transmitir por su continuidad el movimiento vibratorio, moderan la acción de los sonidos demasiado intensos ó muy agudos, obrando como un muelle en virtud de la movilidad de que gozan sus articulaciones.

El modo de funcionar de los distintos elementos constitutivos del laberinto, presenta hasta el día alguna oscuridad que los fisiólogos están llamados á disipar. No es dudoso que las conmociones recibidas por las membranas de las ventanas oval y redonda se transmiten por contiguidad al licor de Cotugni y mediante él á la vitrina; como también que ambos las comunican á los filamentos del nervio acústico y sus accesorios, en lo cual consiste el fenómeno íntimo productor de las impresiones auditivas que el nervio traslada al cerebro; pero la intervención que cada parte toma en este acto complejo no está bien determinada.

Queda aun por averiguar la influencia que ejercen la forma y disposición del caracol y de los canales semicirculares, pues aunque Kerner y Autenrieth creyeron que por ser éstos perpendiculares entre sí, servían para indicar la dirección de los sonidos, semejante hipótesis no puede de ningún modo admitirse puesto que referimos al mismo punto su procedencia cualquiera que sea la posición del cuerpo y de la cabeza.

A pesar de todo, es incuestionable que el oído interno ejerce el principal papel en el mecanismo de la audición; así se observa que muchos animales carecen de oído externo y medio, cuyas partes pueden también faltar accidentalmente en el hombre sin que se produzca la sordera, pero que ésta es irremediable si pierden su integridad las dos membranas, ó llega á vaciarse el líquido conductor del sonido.

Con estos antecedentes, puede reasumirse la teoría de la audición de esta manera.

Las ondas sonoras procedentes del centro fónico se reflejan en la superficie de la oreja, concentrándose en la dirección del conducto auditivo externo, y van á chocar contra la cara exterior de la membrana del tímpano. Las vibraciones de ésta se transmiten á la ventana redonda mediante el aire contenido en la caja, y al mismo tiempo á la ventana oval pasando sucesivamente por el martillo, yunque, lenticular y estribo. La conmoción comunicada á estas membranas, se transfiere al licor de Cotugni, á la vitrina, y por último á las ramificaciones nerviosas respondiendo cada cual á su modo á las excitaciones que experimentan.

Las fibras de Corti que constituyen una série análoga á la de las cuerdas del piano, vibran probablemente cada una al unísono de un sonido particular; de suerte que toda vibración simple de un tono determinado, encuentra siempre una fibra dispuesta á recibirla. Las sedas de Schultz por su gran impresionabilidad parecen destinadas á exaltar la acción de los filamentos nerviosos colocados entre ellas, y los otolitos, en razón á su masa, producirán tal vez el efecto de prolongar las vibraciones demasiado rápidas.

Para no omitir nada de cuanto contribuye más ó ménos directamente al fenómeno de la audición, es preciso consignar que las vibraciones sonoras se transmiten también al nervio acústico por el intermedio de los huesos de la cara y del cráneo. En la acústica hemos visto que los cuerpos sólidos son, en general, buenos conductores del sonido, y no debe extrañar que los huesos participen de esta propiedad. Una experiencia sencillísima de M. Tissandier lo comprueba de un modo evidente: atando en la parte media de un cordón largo una cuchara de plata por el cabo, y aplicando los dos extremos uno á cada oído con ambas manos, se inclina el cuerpo hácia adelante y se comunica á esta especie de péndulo que resulta un movimiento de balanceo para hacer que la cuchara tropiece con un cuerpo duro, co-

mo el borde de una mesa, y se nota entonces que la trasmision del sonido es mucho más intensa que por el aire, pues parece estarse oyendo una campana.

Picando con la uña una cuerda de guitarra sujeta entre los dientes y estirada con la mano, dá sonidos apenas perceptibles para una persona que se halle próxima, pero que retumban fuertemente en el oido del experimentador. Los efectos del audífono en los sordo-mudos demuestran de una manera aun más concluyente la conductibilidad sonora de los huesos de la cabeza, puesto que en estos individuos se halla el aparato auditivo completamente inhabilitado para funcionar.

Algún interés ofrece también la explicacion del modo cómo juzgamos de la distancia que nos separa de los cuerpos sonoros. En ciertos casos la calculamos por la intensidad del sonido, lo cual se comprende teniendo en cuenta que en igualdad de las demás circunstancias, la impresion decrece con la distancia; pero seguramente no distinguimos por este medio los sonidos fuertes que vienen de lejos, de los débiles producidos muy cerca. M. Daguin, partiendo del supuesto de que todos los sonidos están formados de uno principal ó dominante, acompañado de otros varios que pueden ser armónicos suyos ó resultar de vibraciones comunicadas, explica los hechos de este modo. Los sonidos secundarios, más débiles que el principal, van desapareciendo á medida que las ondas se alejan del centro fónico quedando aquel, por consiguiente, sordo y como ahogado. Siempre que el sonido sufre esta especie de modificacion perdemos la facultad de apreciar la distancia, como acontece en los grandes edificios, cuando se oye á través de una pared sin tener conocimiento de ello, ó tratándose de sonidos desconocidos para el observador. Los ventrílocuos consiguen que su voz aparezca saliendo de diferentes sitios más ó menos lejanos, ahogando en su garganta todos los sonidos accesorios, para lo cual hablan en el acto de la inspiracion y le dan la inflexion que se emplea al gritar desde lejos.

---

## APENDICE.

### Indicacion de algunos instrumentos de música usados en la antigüedad.

ARUNDO CERATA. [*Flauta de Pan*]. Instrumento de viento, compuesto de muchos tubos de caña de distintos calibres y longitudes, pegados con cera unos á otros formando série segun su tamaño.

BARBITOS. [*βάρβιτος*]. Instrumento de cuerdas de la clase de las liras, pero de mayores dimensiones y con cuerdas más fuertes: capaz, por consiguiente, de producir sonidos más intensos. Puede decirse que era con respecto á aquellas lo que el contrabajo con relacion al violin.

BUCCINA. [*βυκίνη*]. Instrumento de viento encorvado á manera de trompa, retorcido sobre su eje y provisto de una ancha embocadura de metal: se usaba en la milicia para hacer señales y transmitir órdenes.

CITHARA. [*κίθαρα*]. Instrumento de cuerdas antiquísimo, semejante por su forma, segun Rich, al cuello y pecho del hombre: corresponde á la guitarra moderna, cuyo nombre es una derivacion de aquel.

CORNU ó CORNUM. Especie de trompa grande, encorvada, que en un principio se hizo de cuerno y más tarde de bronce: tenia una barra transversal que servia para conservar la forma y para que pudiera sujetarla mejor el instrumentista.

CREPITACULUM. Venia á ser una sonaja compuesta de un aro con cascabeles, montado sobre un pié y se sonaba por sacudidas como los juguetes de los niños.

CRUSMATA. [*κρούσματα*]. Piezas parecidas á las castañuelas ó palillos españoles que usaban las mugeres en Grecia y Roma.

CYMBALUM. [*κύβαλον*]. Instrumento doble formado por dos hemisferios huecos de metal, con un anillo en el centro por

donde se cogian para sacudirlos uno contra otro, como se hace hoy con los platillos. Se empleaban principalmente en las ceremonias de adoracion á Cibeles y á Baco.

FISTULA. [σύριξ]. Era una flauta muy parecida al *arundo*.

HYDRAULUS. [ὕδραυλος]. Organó hidráulico en el cual los fueles eran movidos por la presión del agua: tenía muy pocos cañones y estaba colocado sobre un pedestal careciendo de llaves y de teclas.

LIGULA ó LINGULA. Embocadura en forma de bisel parecida á la del flautin, que se tocaba cogiéndola entre los labios como el clarinete.

LITUS. Trompeta de cobre, bastante grande, formada por un largo tubo recto, parecida á la *tuba*; pero que presentaba en su extremidad una articulacion encorvada con una boca semejante á la *buccina*.

LYRA. [λύρη]. Instrumento de cuerdas pequeño, tan antiguo que se cree procedente de Egipto de donde pasó á Grecia y al Asia Menor. No tenía caja armónica, y sus cuerdas, libres por ambos lados, variaban entre tres y nueve. Se la tocaba con las dos manos, ó bien por un lado con la mano y por el otro con una pua de puerco-espín: si el músico estaba sentado la apoyaba sobre sus rodillas y si se hallaba en pié la sujetaba al pecho con una correa. Aunque la forma variaba según el capricho del constructor, sus condiciones esenciales eran siempre las mismas.

MONAULUS. [μόναυλος]. Flauta rudimentaria en su mayor grado de sencillez que se tocaba como el clarinete.

NABLIA. [νάβλια]. Instrumento originario de Fenicia, según Atheneo, que algunos consideran idéntico al *nebel* citado en los salmos: de Oriente pasó á Grecia y Roma. Tenía la figura de un rectángulo, constaba de diez ó doce cuerdas, y se tocaba con las dos manos y sin plectro, como el arpa.

PLECTRUM. [πλήκτρον]. Era un palito ó cañón de pluma que servía para hacer vibrar las cuerdas, ya interponiéndolo entre ellas ó haciéndolo rozar en dirección perpendicular á su longitud. El *pecten* era dentado y se usaba para el mismo objeto. El *pulsabulum* tenía la figura de arco y recibía igual aplicación.

**PSALTERIUM.** [*ψαλτήριον*]. Instrumento de cuerdas que participaba de los caracteres de la cítara y del arpa. A la primera se asemejaba por tener una caja sonora con agujeros, á la que iban fijas las cuerdas; y se aproximaba á la segunda en el modo de usarlo, pues se colocaba horizontalmente sobre el hombro descansando por la concavidad del arco que formaba la union de la caja con el clavijero.

**SAMBUCA.** [*σαμβύκη*]. Instrumento de cuerdas de distinta longitud y naturaleza, bastante parecido al arpa moderna. Sus dimensiones, reducidas por lo comun, eran grandes en otros casos, llevando muchos adornos en la caja.

**SCABELLUM.** [*κρονπέζια*]. Consistía en un zapato con suela de madera muy gruesa, hendida horizontalmente en su mitad anterior, y llevaba en el intervalo de los dos segmentos un pequeño mecanismo de metal que producía sonidos cuando el pié apoyaba contra la suela. Lo usaban los tocadores de flauta para indicar el principio y el fin de las piezas, y segun Rich, tambien se empleaba para marcar el tiempo y para acompañar á otros instrumentos.

**SISTRUM.** Instrumento de metal de que se servian los egipcios en las ceremonias del culto de Isis, y que hacía tambien en la guerra el papel de la trompeta ó del tambor. Se componia de barras metálicas atravesadas por agujeros practicados en las partes opuestas de un bastidor delgado de la misma materia y montado sobre un mango. Las barras sobresalian del bastidor terminando en un gancho por los extremos y podian resbalar holgadamente en sentidos opuestos. Haciéndolo oscilar con rapidez resultaban del rozamiento y choque de ellas contra la placa sonidos agudos y penetrantes.

**SYMPHONIA.** [*ρόπτρον, βυρσοπαγές*]. Especie de tambor formado por un cilindro hueco de cobre ó de madera, con una piel tirante en sus dos bases, que el músico sacudia á la vez con dos varillas, llevándolo colgado transversalmente del cuello con una correa. Era instrumento militar entre los egipcios y los partos, no estando acordes los críticos acerca de si lo usaron ó no los griegos y romanos.

SYRINX. [συριγγή]. Con este nombre griego se conocia la flauta campestre inventada por Pan, á la que los romanos daban el nombre de *arundo* ó *fistula*.

TETRACORDON. [τετράχορδον]. Vitrubio llama así al órgano hidráulico cuando no tenia más que cuatro tubos y daba solo cuatro notas, que comprendian dos tonos y medio.

TESTUDO. [χέλυς]. Nombre que se dió á una variedad de lira porque llevaba como caja armónica delante de las cuerdas una pieza cóncava parecida al espaldar de una tortuga. Créese que el nombre tomó origen de una leyenda, segun la cual, Mercurio, fabuloso inventor de este instrumento, concibió la idea de su construccion por haber visto en Egipto un esqueleto de tortuga en el cual algunas tiras de piel desecadas dieron sonidos doblándolas con los dedos.

TRIGONUM. [τρίγωνον]. Instrumento de forma triangular con todas las cuerdas de igual grueso, pero de distinta longitud, colocadas como en el arpa; que se tocaba con las dos manos, poniéndolo sobre el hombro izquierdo. Algunos opinan que este mismo nombre corresponderia al triángulo usado hoy y que fué conocido de los latinos.

TYMPANUM. [τύμπανον, κύκλωμα, βυρσότονον]. Instrumento formado de un aro de madera, cerrado por un lado con una piel tirante á modo de cedazo, y provisto de sonajas constituyendo una verdadera pandereta. Se tocaba por percusion con la mano, ó con un palo, y tambien rozando el dedo índice sobre el borde: se le aplicaban los calificativos de *leve* é *inane* para distinguirlo del címbalo que era más pesado.

Hay quien supone que se dió el mismo nombre á otro instrumento análogo al timbal, constituido por una especie de caldera cubierta con una piel, que segun Apolodoro, fué empleado por Salomon para producir un ruido semejante al del trueno, y tal vez el mismo de que se valian los partos para dar la señal del combate.

---

# INDICE ALFABETICO

DE LOS

NOMBRES DE AUTORES Y ARTISTAS CITADOS EN ESTA OBRA.

- |                  |              |              |
|------------------|--------------|--------------|
| <b>A.</b>        | <b>D.</b>    | Grenié.      |
| Ader.            | Daguin.      | Guarnerius.  |
| Arago.           | De la Rive.  | Guyot.       |
| Arcet.           | Delaroche.   | <b>H.</b>    |
| Autenrieth.      | De Luc.      | Hajech.      |
| <b>B.</b>        | Dasains.     | Hamel.       |
| Bach.            | Despretz.    | Hassenfratz. |
| Barker.          | Dove.        | Hauksbée.    |
| Bernard.         | Duhamel.     | Helmholtz.   |
| Bernouilli.      | Dunal.       | Hendel.      |
| Bichat.          | <b>E.</b>    | Herschel.    |
| Biot.            | Edison.      | Higgins.     |
| Boerhaave.       | Elisa Gray.  | Hook.        |
| Borhm            | Erard.       | Humboldt.    |
| Buchanam.        | Euler.       | <b>K.</b>    |
| Bourget.         | <b>F.</b>    | Kerner.      |
| Bouvard.         | Fabricio.    | Kircher.     |
| Breschet.        | Faraday.     | Koenig.      |
| <b>C.</b>        | Flourens.    | Kölliker.    |
| Cagniard Latour. | Franklin.    | Kundt.       |
| Cavaille-Coll.   | <b>G.</b>    | <b>L.</b>    |
| Chladni.         | Gay-Lussac.  | Lamé.        |
| Colladon.        | Graham Bell. | Leconte.     |
| Corti.           |              | Lemaire.     |
| Cuvier.          |              | Lissajous.   |
|                  |              | Longet.      |

**M.**  
Maëlzel.  
Marloye.  
Mathieu.  
Mayo.  
Melde.  
Mersenne.  
Michel.  
Moigno.  
Mozart.  
Müller.

**P.**  
Parry.  
Poisson.  
Priestley.  
Prony.

**R.**  
Rameau.  
R. Plot.  
Rich.  
Rijke.  
Rubio y Diaz.

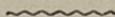
**S.**  
Savart.  
Sauveur.  
Schaffgostch.  
Scheibler.  
Schultze.  
Scott.  
Seebek.  
Sondhauss.  
Sorge.

S. Rhodes.  
Stradivarius.  
Sturme.

**T.**  
Tartini.  
Tissandier.  
Tyndall.

**W.**  
Webber.  
Wertheim.  
Wheatstone.  
Wollaston.

**Y.**  
Young.



## TABLA DE LAS MATERIAS.

---

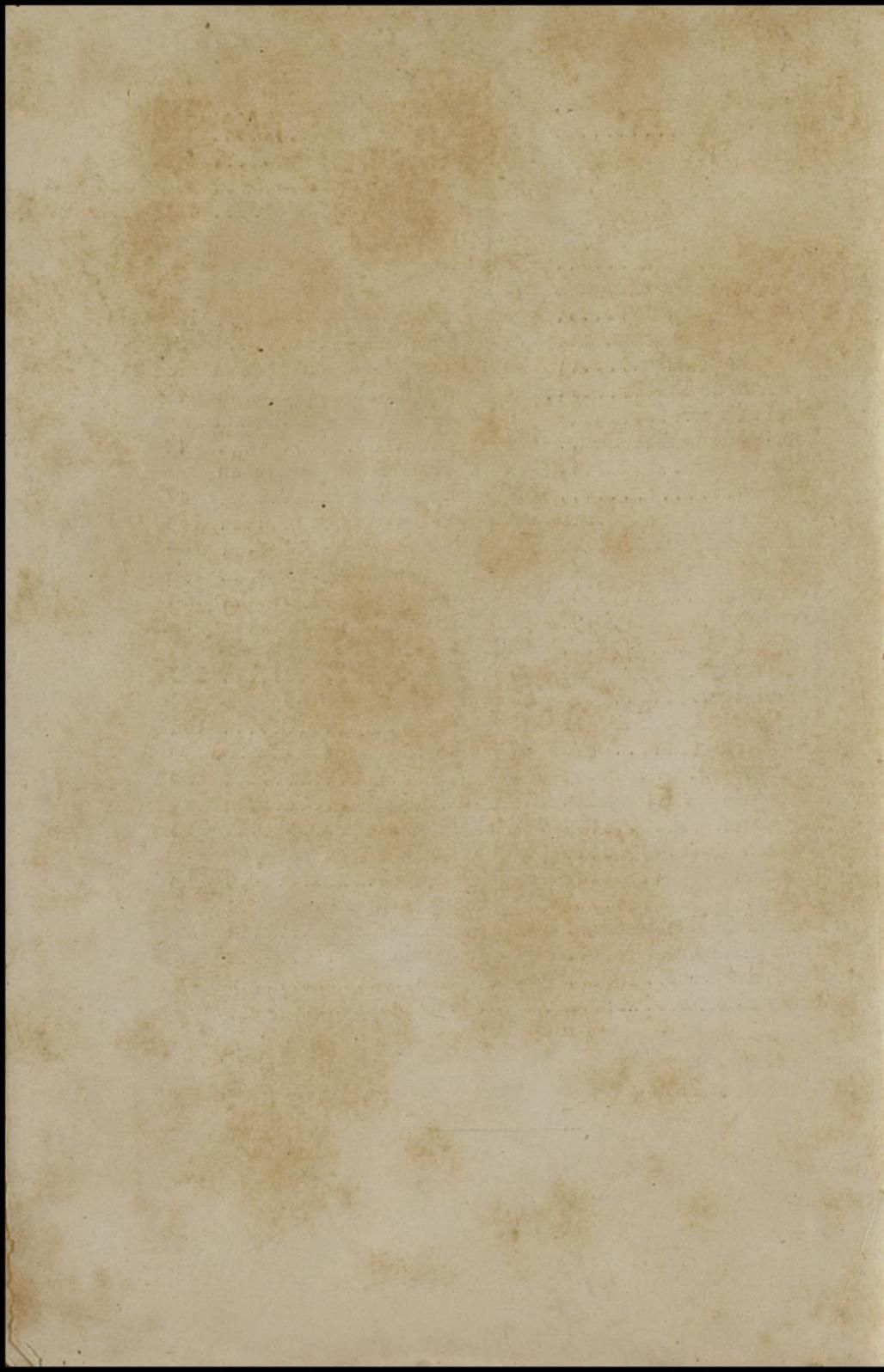
<b>A.</b>	<p>Acordes en general..... 82</p> <p>Acordeon..... 134</p> <p>Acorde perfecto mayor.. 83</p> <p>Acorde perfecto menor.. 84</p> <p>Acústica..... 32</p> <p>Agentes físicos..... 19</p> <p>Alma del violin..... 109</p> <p>Análisis del sonido..... 96</p> <p>Angulos ..... 12</p> <p>Aparato auditivo ..... 153</p> <p>Aparato de Kœnig..... 97</p> <p>Armonía..... 82</p> <p>Armónica de Franklin... 139</p> <p>Armónica de Santo Domingo..... 133</p> <p>Armónica química..... 37</p> <p>Armónicos de las cuerdas. 105</p> <p>Armónicos de las vocales. 100</p> <p>Armonium..... 134</p> <p>Arpas de Erard..... 90</p> <p>Atmósfera ..... 30</p> <p>Átomos ..... 17</p> <p>Audífono..... 53</p> <p>Axioma ..... 9</p>	<p>Bordones..... 120</p> <p>Buccina..... 161</p>
<b>B.</b>	<p>Bajon..... 124</p> <p>Barbitos ..... 161</p> <p>Bemoles..... 89</p> <p>Bocado de Adan..... 147</p> <p>Bocina ..... 52</p> <p>Bombo..... 141</p>	<p style="text-align: center;"><b>C.</b></p> <p>Caja de expresion..... 128</p> <p>Cajas de música..... 133</p> <p>Caja de viento del órgano. 126</p> <p>Caja del tímpano..... 153</p> <p>Caleidófono..... 66</p> <p>Campanas..... 138</p> <p>Canales semicirculares .. 154</p> <p>Canilla..... 113</p> <p>Cartilagos laríngeos..... 148</p> <p>Centro fónico..... 43</p> <p>Cilindro... .. 16</p> <p>Circunferencia..... 14</p> <p>Cithara..... 161</p> <p>Choque ..... 28</p> <p>Claque-bois de los salvajes ..... 133</p> <p>Clarín... .. 124</p> <p>Clarinete ..... 123</p> <p>Cohesion..... 18</p> <p>Coma ..... 87</p> <p>Comparador óptico..... 68</p> <p>Compresibilidad..... 21</p> <p>Concameraciones..... 103</p> <p>Concha de la oreja..... 153</p> <p>Condiciones acústicas del violin..... 108</p> <p>Conductibilidad sonora de los huesos ..... 159</p> <p>Conducto auditivo externo ..... 153</p>

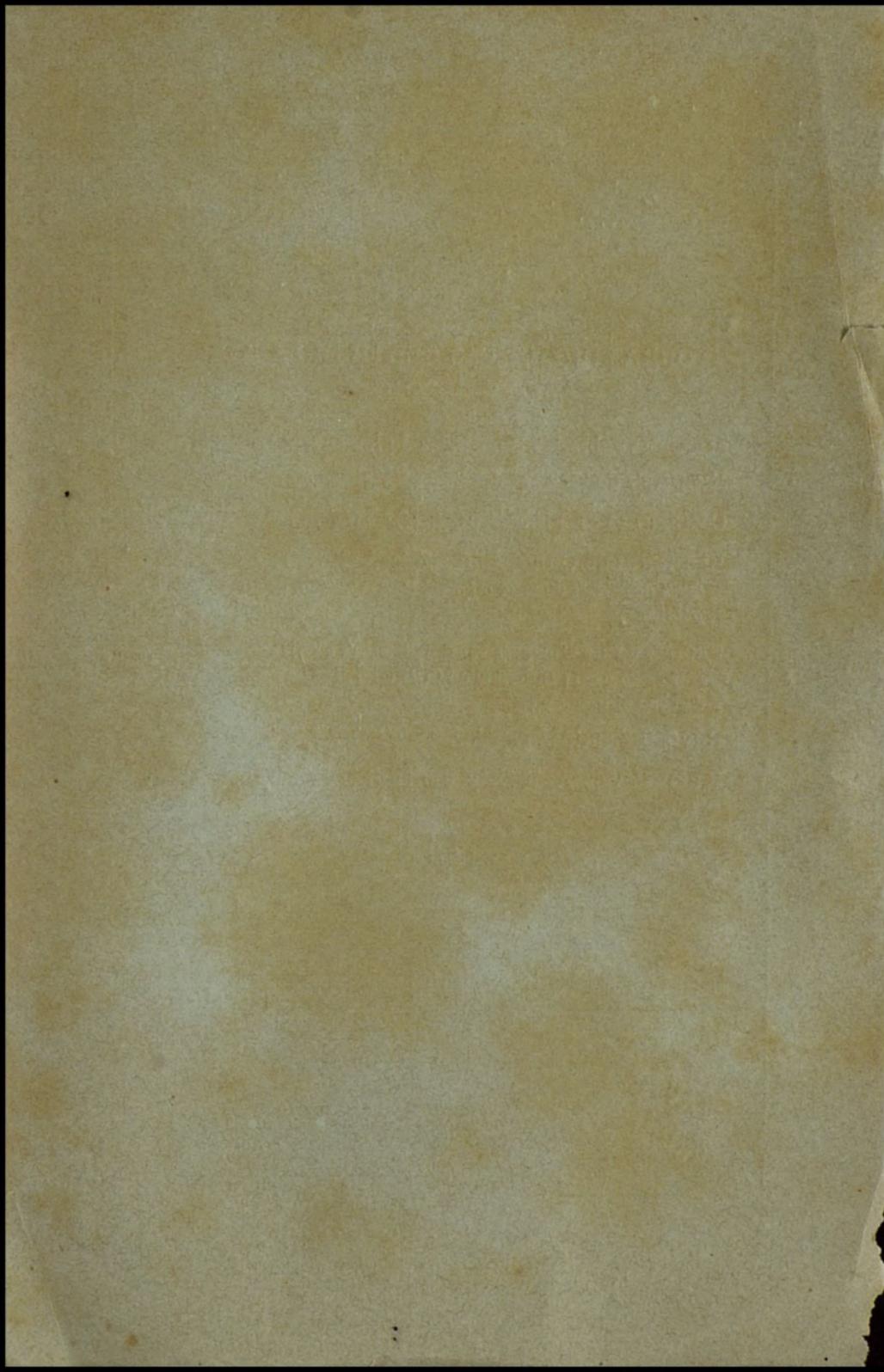


Gravitacion.....	26	Leyes de las vibraciones	
Gong de los chinos.....	138	de las placas.....	136
<b>H.</b>		Ligamentos laríngeos...	148
Habitaciones sordas.....	52	Ligula.....	162
Hierro de tono.....	91	Líneas geométricas.....	11
Hipertonos.....	93	Líneas nodales.....	135
Hydraulus.....	149	Linfa de Cotugni.....	154
<b>I.</b>		Lituus.....	162
Impenetrabilidad.....	20	Longitud de la onda....	43
Inercia.....	22	Lyra.....	162
Inflexion del sonido.....	55	<b>LL.</b>	
Instrumentos de cuerda...	106	Llamas sensibles.....	144
Instrumentos de música		Llamas sonoras.....	37
antiguos.....	161	<b>M.</b>	
Instrumentos de viento..	122	Máquinas.....	24
Intensidad sonora.....	77	Materia.....	17
Interferencia del sonido..	56	Melodía.....	82
Intervalo musical.....	82	Mecánica.....	22
Intervalos de la gamma..	86	Mecanismo de la fonacion.	148
<b>J.</b>		Medio-físico.....	39
Juegos (órgano).....	127	Membrana del tímpano..	153
Juegos de mutacion.....	128	Membranas sonoras.....	139
Juegos de octava.....	128	Metal del sonido.....	96
<b>L.</b>		Método acústico.....	59
Laberinto.....	154	Método de las llamas ma-	
Laringe.....	147	nométricas.....	69
Lengüeta batiente.....	113	Método gráfico.....	63
Lengüeta libre.....	114	Método óptico.....	67
Ley física.....	19	Metronomo.....	27
Leyes de Bernouilli.....	121	Micrófono.....	73
Leyes de la reflexion del		Modo mayor.....	87
sonido.....	48	Modo menor.....	87
Leyes de las vibraciones de		Modular.....	88
las cuerdas.....	101	Moléculas.....	17
Leyes de las vibraciones de		Monaulus.....	162
las membranas.....	139	Monocordio.....	101
		Movilidad.....	22
		Movimiento uniforme....	24
		Músculo del martillo....	157

N.	R.
Nabla . . . . .	Raiz cuadrada . . . . .
Nodos de las cuerdas . . . . .	Raiz cúbica . . . . .
Nodos de los tubos sonoros . . . . .	Raseta . . . . .
Nota sensible . . . . .	Rayo sonoro . . . . .
Notacion de los físicos . . . . .	Razon ó relacion . . . . .
	Red telefónica . . . . .
<b>O.</b>	Redoblante . . . . .
Oboe . . . . .	Reflexion del sonido . . . . .
Observacion . . . . .	Refraccion del sonido . . . . .
Octavin . . . . .	Registros del órgano . . . . .
Oficleide . . . . .	Reposo . . . . .
Oido externo . . . . .	Resistencia . . . . .
Oido interno . . . . .	Resonadores . . . . .
Oido medio . . . . .	Resonancia . . . . .
Onda sonora . . . . .	Rotacion de las llamas . . . . .
Oreja de Denys . . . . .	Rozamiento . . . . .
Organo . . . . .	Ruido . . . . .
Organo de la voz humana . . . . .	
Oscilacion . . . . .	<b>S.</b>
	Salas de secretos . . . . .
<b>P.</b>	Sambuca . . . . .
Palancas . . . . .	Scabellum . . . . .
Pandereta . . . . .	Sedas de Schultz . . . . .
Partículas . . . . .	Semitono mayor . . . . .
Péndulo acústico . . . . .	Síntesis del sonido . . . . .
Péndulo físico . . . . .	Sirena acústica . . . . .
Pentágrama . . . . .	Sistema de fuerzas . . . . .
Placas sonoras . . . . .	Sistema métrico . . . . .
Platillos . . . . .	Sistrum . . . . .
Plectrum . . . . .	Sombra sonora . . . . .
Polígonos . . . . .	Sonido en general . . . . .
Porosidad . . . . .	Sonidos altos . . . . .
Porta-viento . . . . .	Sonidos armónicos . . . . .
Potencia . . . . .	Sonidos bajos . . . . .
Prisma . . . . .	Sonidos consonantes . . . . .
Propiedades físicas . . . . .	Sonido disonantes . . . . .
Proporcionalidad . . . . .	Sonido resultante . . . . .
Psalterium . . . . .	Sonidos simples . . . . .
Pulsaciones . . . . .	Sonómetro . . . . .
	Sonoridad de las llamas . . . . .
	Sostenidos . . . . .

Superficie geométrica....	13	Tubos cerrados.....	120
Symphonia.....	163	Tubos de boca.....	112
Syrinx.....	164	Tubos de lengüeta.....	113
		Tubos sonoros.....	111
		Tympanum..	164
<b>T.</b>		<b>V.</b>	
Tambor.....	140	Varillas rectas.....	129
Tamtam de los chinos...	138	Velocidad.....	24
Teclas del órgano.....	127	Velocidad del sonido en el	
Teléfono de cuerda.....	71	agua.....	46
Teléfono de Ader.....	73	Velocidad del sonido en el	
Teléfono de Bell.....	71	aire.....	44
Teoría física.....	19	Velocidad del sonido en	
Teorías de la fonación...	148	los sólidos.....	47
Tetracordon.....	164	Ventana oval.....	154
Testudo.....	164	Ventana redonda.....	154
Timbales.....	140	Ventrículos laríngeos. .	148
Timbre del sonido.....	96	Vestíbulo.....	154
Timbre de la voz humana	152	Vibración.....	33
Tímpano.....	133	Vibraciones de las campa-	
Tonalidad.....	81	nas.....	137
Tónica.....	88	Vibraciones de las cuer-	
Tono mayor.....	87	das.....	101
Tono menor.....	87	Vibraciones de las vari-	
Traquea.....	147	llas.....	129
Trasportar.....	88	Vibróscopo.....	64
Triángulos.....	13	Vientres.....	103
Triángulo de las bandas.	134	Vientres en los tubos so-	
Trigonum.....	164	noros.....	117
Triplo.....	10	Vientres en las placas...	135
Trombon.....	125	Violin de hierro.....	134
Trompa.....	125	Violin de paja.....	133
Trompa de Eustaquio. .	154	Vitrina.....	154
Trompetillas acústicas ..	53	Voz de falsete.....	152
Tubos acústicos.....	80		
Tubos abiertos.....	120		





OBRAS DIDÁCTICAS DEL MISMO AUTOR.

---

MEMORIA sobre las densidades de los cuerpos.—1866.

RESÚMEN de Física.—1868.

COMPENDIO de Física.—1873. [2.<sup>a</sup> edición.]

LECCIONES de Química inorgánica.—1873.

Obra declarada de mérito por el Real Consejo de Instrucción pública.

PROGRAMA de Física y Química.—1877. [6.<sup>a</sup> edición.]

Aprobado por la Dirección de Instrucción pública de conformidad con el Real Consejo.

REVISTA científica popular.—1883.

PROGRAMA de Acústica y Teoría física de la música.—1883.