

nales no ofrecen ventaja alguna, á no ser que su distancia al foco sonoro sea bastante pequeña para que no haya resonancia ó reflexión intempestiva.

Las disposiciones de un anfiteatro cerrado por todas partes deben ser también las anteriormente enunciadas; sin embargo, podrá suceder que haya que colocar la orquesta

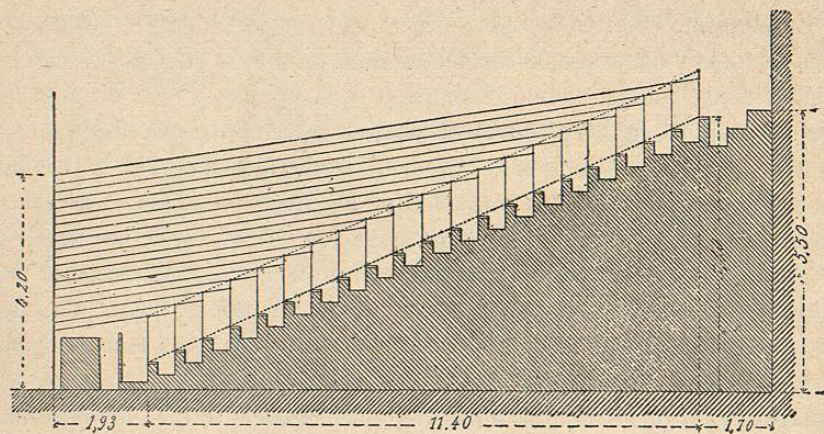


Fig. 342.—Sección de anfiteatro: gradería en línea recta

á los lados, porque los cantantes deben estar de frente á todos los espectadores. Las paredes que limitan el recinto han de presentar planos rectos, resistentes y lisos; es preciso

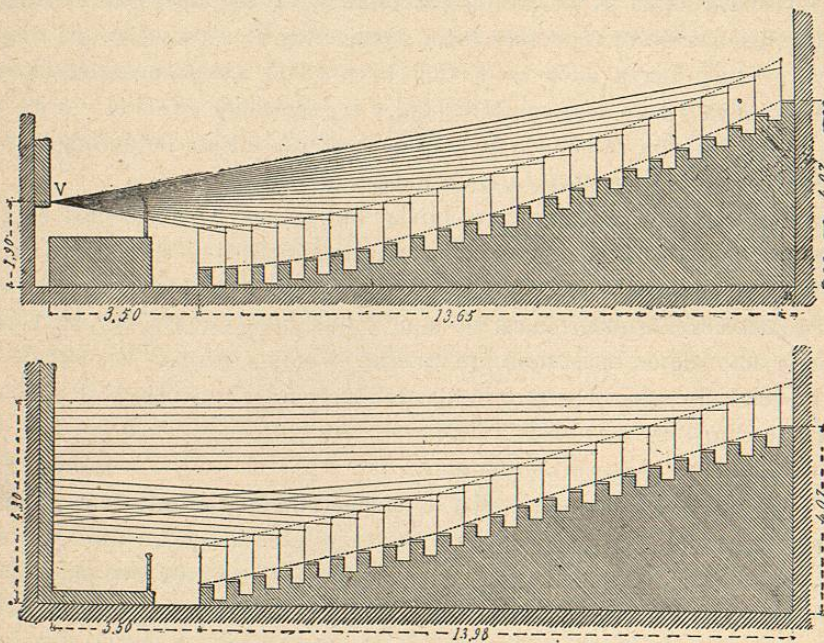


Fig. 343.—Anfiteatro del Observatorio y anfiteatro de diapasón normal, según M. Lachez. Graderías en línea mixta ó curva

evitar las salientes muy marcadas, los huecos ó los resaltes de ornamentación, y los paños ó tapices emplearse únicamente para amortiguar el exceso de sonoridad de la sala.

„Para que se oiga solamente la palabra de un orador.

„En este caso es muy útil, si no absolutamente necesario, que el auditorio y el orador estén en un espacio limitado por paredes; y según que este espacio sea más ó

menos dilatado, la palabra será más ó menos perceptible para cierto número de personas. Un recinto cerrado, no tan sólo tiene la ventaja de poner al oyente á cubierto de todo ruido, de todo sonido extraño y de la intemperie, sino que también debe proporcionar recursos, ora para aumentar la intensidad sonora de la voz, ó bien para destruir enteramente las resonancias que la repercusión de las ondas produce; las dimensiones del recinto y su volumen indican los medios acústicos que conviene emplear.

La colocación de los oyentes con relación al foco sonoro entra también por mucho en las cualidades de una sala desde el punto de vista acústico. Por lo común, lo preferible es una serie de gradas construídas en arco de círculo con relación al foco, sea orquesta ó tribuna, cuyas gradas permiten ver normalmente ó por lo menos recibir directamente los sonidos, con tal que la línea que forman esté suavemente inclinada sobre el plano horizontal del que parten las ondas sonoras. Las figuras 342 y 343 representan secciones de anfiteatros: en la primera, el perfil de las gradas se eleva en línea recta y sobrado bruscamente; en las otras dos es más favorable á la vista ó al oído, sobre todo la que M. Lachez considera como normal, porque las ondas sonoras, partiendo del foco V, van á encontrar á cada fila de oyentes en condiciones iguales de buena transmisión y sin que las intercepte ningún obstáculo, ni siquiera parcialmente.

En los teatros, en que hay á la vez orquesta y escenario y en los que se debe atender tanto á la vista como al oído, las condiciones del problema son más complejas, y lo son tanto más cuanto que el arquitecto ha de tener en cuenta las tradiciones, las costumbres y la rutina.

CAPITULO II

LOS INSTRUMENTOS DE MÚSICA.—INSTRUMENTOS SIMPLES

Sería un estudio sumamente curioso, pero delicado y difícil, el de los variadísimos instrumentos con los cuales ejecutan los músicos las piezas de su arte, considerando cada uno de dichos instrumentos desde el punto de vista de las leyes de la acústica musical. En todas las épocas de la historia han tenido todos los pueblos, hasta las tribus salvajes más atrasadas, instrumentos de esta clase, desde los más toscos y rudimentarios hasta los de forma más estudiada é inteligente, como los violines modernos, imitados de los fabricados por los Stradivarius, Guarnerius ó Amati, y hasta las combinaciones complicadas de los grandes órganos. La teoría de los instrumentos de música es aún muy oscura en ciertos puntos, y tanto los prácticos más hábiles como los físicos más sabios con dificultad se dan cuenta de las formas consagradas por la experiencia. Hay sin embargo cierto número de principios en los que está basada la construcción de los instrumentos, no careciendo de interés el conocer en qué se relacionan estos principios con las leyes de las vibraciones sonoras en las campanas, cuerdas, tubos y membranas.

Así procuraremos demostrarlo pasando revista á los tipos de instrumentos cuyos sonidos son producto de los diferentes modos de vibración y que por esto mismo se puede dividir en varias categorías. Examinaremos, pues, sucesivamente: 1.º los *instrumentos sencillos, monótonos*, que por lo general no emiten más que un sonido, como las campanas, los triángulos, los timbres, los tambores, etc., y que están fundados en las vibraciones de los sólidos de revolución, de las placas ó láminas metálicas, y por fin,

de las membranas; 2.º los *instrumentos de cuerda*, cuya innumerable familia puede subdividirse en tres ramas principales que tienen por tipos el violín, el arpa y el piano; 3.º los *instrumentos de viento*, que se dividen también, con arreglo al modo de producción del sonido dependiente de la embocadura, en instrumentos de embocadura de flauta, de trompa y de lengüetas batientes ó libres: la flauta, el oboe y la trompa pueden servir de tipos de estos tres géneros, los cuales se resumen en el órgano, conjunto magnífico en el que todas las voces instrumentales tienen su expresión y que constituye por sí solo toda una orquesta.

I

INSTRUMENTOS SIMPLES FUNDADOS EN LAS VIBRACIONES DE LÁMINAS Ó PLACAS

Las placas y las varillas metálicas de varias formas vibran cuando se las frota longitudinal ó transversalmente ó se las golpea en alguno de sus puntos, resultando de aquí sonidos que á veces se utilizan en las orquestas.

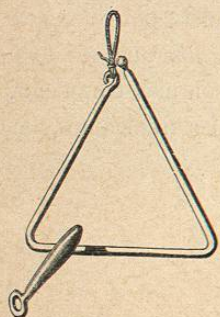


Fig. 344.—Triángulo

El *triángulo* es un instrumento de esta clase formado por una varilla cilíndrica de acero sin templar, que presenta la figura de un triángulo equilátero abierto por uno de sus vértices; á veces se le añaden anillas metálicas enfiladas en la base. El ejecutante golpea uno de los lados del triángulo con una varilla de acero, resultando de esta percusión una serie de sonidos armónicos cuya coexistencia da al instrumento su sonoridad, pero que no desempeñan en las piezas de música ningún papel, armónica ó melódicamente considerados. Es sólo un efecto singular, que no ofrece carácter alguno sino en el conjunto del trozo musical, cuyo ritmo acentúan los sonidos del triángulo.

El *glass-corde* ó *armónica de placas de vidrio* es otro instrumento compuesto de una serie de láminas de cristal, cuyas dimensiones están calculadas de modo que por la percusión producen las notas sucesivas de la escala con sus modu-

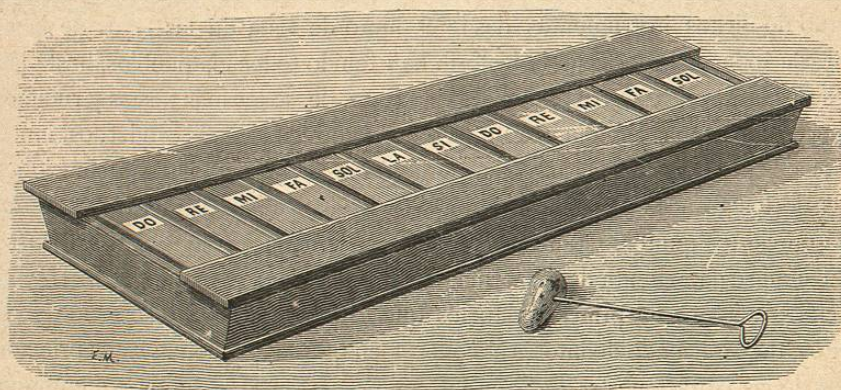


Fig. 345.—Armónica de cristales ó glass-corde

laciones (fig. 345): como las placas son de igual espesor, los cuadrados de sus longitudes están en razón inversa de los números de vibraciones de las notas de la escala. Estas placas están sujetas en una caja reforzante de madera por medio de cordones horizontales que se apoyan en las líneas nodales correspondientes al sonido fundamental de

cada una de ellas. Se las golpea con una especie de martillo de cabeza de corcho, y así se pueden ejecutar piezas bastante variadas. Los negros usan unos instrumentos parecidos, sólo que no tienen caja y la madera sustituye al cristal. Por último, ciertas láminas metálicas dispuestas del mismo modo que en la armónica y que se golpean alternativa ó simultáneamente con martillos puestos en movimiento por un teclado,

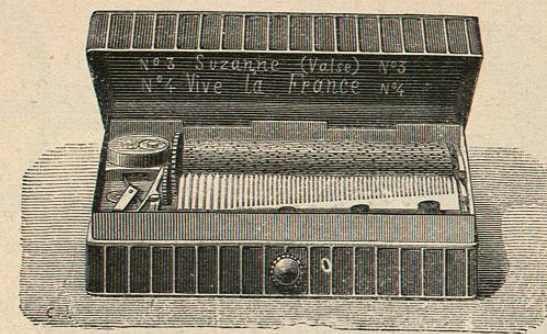


Fig. 346.—Caja de música

constituyen un instrumento que puede ejecutar trozos de música bastante complicados.

Dase el nombre de *cajas de música* á unos instrumentos automáticos, cuyos sonidos los producen las vibraciones de unas pequeñas lengüetas de acero ó de cobre colocadas como los dientes de un peine (fig. 346); las dimensiones de estas lengüetas es-

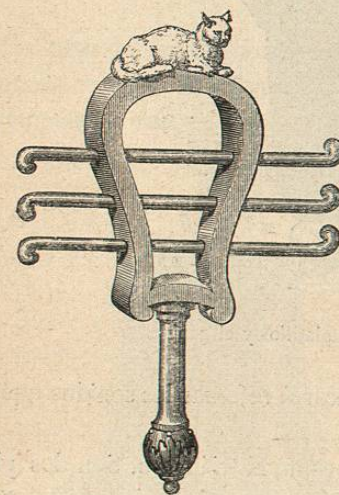
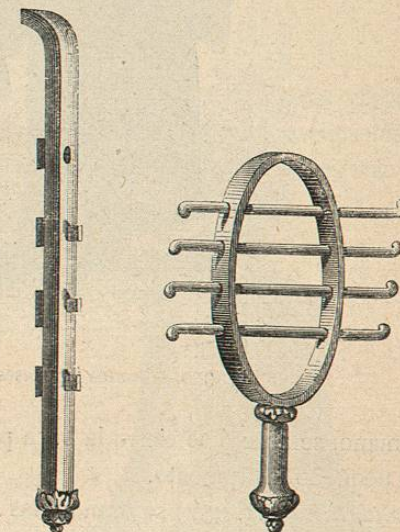


Fig. 347.—Sistro de Isis



Figs. 348 y 349.—Sistros de los antiguos egipcios

tán calculadas de modo que dan los sonidos de la escala con sus modulaciones. Estos dientes resuenan al rozar con ellos unas puntas de metal encajadas en el contorno de un cilindro, al que un mecanismo de relojería hace dar vueltas uniformes. La caja que contiene este mecanismo da á las notas emitidas por las lengüetas más fuerza y sonoridad, la cual aumenta si se pone el instrumento sobre una mesa. Se da cuerda al mecanismo con una llave como si fuese un reloj de bolsillo. Las puntas de metal de los cilindros están colocadas de modo que puedan ejecutar varias tocatas.

Las figuras 347, 348 y 349 representan instrumentos antiguos conocidos con el

nombre de *sistros* y usados en el antiguo Egipto: estaban fundados sin duda en las vibraciones de las placas y varillas metálicas. La *trompa* (fig. 351), que sirve de entretenimiento á los muchachos de las aldeas y que probablemente se remonta á una apartada antigüedad, es un instrumento que podría clasificarse entre los sistros. Consiste en una lengüeta de acero, libre por un extremo y soldada por otro á un arco de doble curvatura que se pone entre los dientes. Haciendo vibrar entonces la lengüeta



Fig. 350.—Bonzos japoneses tocando los platillos y el gong

con la mano, se abre ó se cierra la boca para modificar ó reforzar los sonidos que despiden el pequeño instrumento.

Los *platillos* (fig. 352) se usan en las orquestas como el triángulo. Son dos placas circulares de bronce que el músico sujeta en cada mano con cordones ó correas, y que golpea una con otra imprimiéndolas un movimiento de desliz.

En el centro de cada platillo hay una cavidad de forma hemisférica que tiene su influencia en la producción del sonido, pues de ella resulta un sonido más agudo que los producidos por las placas metálicas, de lo cual es fácil cerciorarse tapando con papeles las dos cavidades, pues entonces ya no se oye el sonido agudo.

Los sonidos de los platillos tienen cierta analogía con los de un instrumento chino llamado *gong*, *gonggong* ó *tamtam* (fig. 350), el cual no es otra cosa sino un disco de bronce de bastante diámetro (de 50 centímetros á 1 metro) y con un reborde circular. Se le golpea en los puntos inmediatos á la circunferencia con una varilla cuyo extremo

es una almohadilla cubierta de piel. Los golpes repetidos del martillo producen un són sumamente complejo, de singular sonoridad, y que emite de vez en cuando, como por explosión, sonidos agudos ó graves. La impresión que causa tan raro instrumento es por demás extraña. Los chinos lo usan en las bodas, entierros, fiestas públicas ó religiosas y visitas á los mandarines de alto grado.

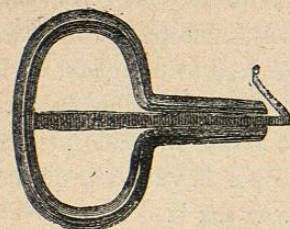


Fig. 351.—Trompa

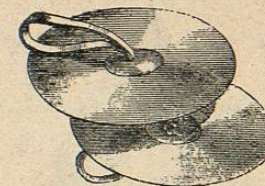


Fig. 352.—Platillos

Los chinos distinguen los *gongs*, con arreglo á la intensidad de sus sonidos, que depende sobre todo de su modo de martillarlos, en gongs machos y gongs hembras. Los bonzos japoneses se sirven del gong y de los platillos en sus ceremonias. Chladni refiere que "este instrumento se usó en Copenhague con éxito en un *Oratorio* para representar el temblor de tierra ocurrido cuando la muerte de Jesucristo.,,

II

CAMPANAS Y JUEGOS DE CAMPANAS

En lugar de dar una forma plana, rectangular ó discoidea á las placas vibrantes, se las puede construir también con la de sólidos de revolución, hemisférica, elipsoidal, como de campanas y vasijas. Así resultan los timbres y las campanas que se destinan á varia-

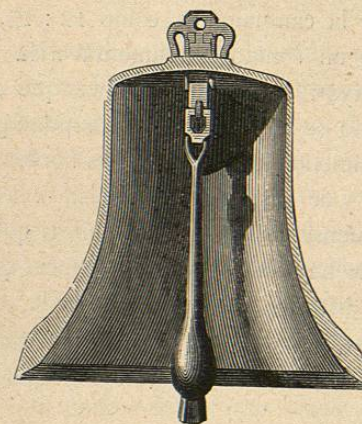


Fig. 353.—Sección de una campana de iglesia



Fig. 354.—Vista exterior

dísimos usos. Por lo general se los emplea para servir de señales, ya en la vida doméstica, ó bien en la industria, en las fábricas, en las vías férreas, en los barcos, etc. Se hacen de todas clases y dimensiones, y los sonidos que emiten son por lo general un compuesto de los sonidos armónicos que producen las partes del cuerpo sonoro divididas por las líneas nodales. El sonido más grave ó fundamental es el que más hieren el oído, y la

mezcla de los sonidos más agudos da á la campana su timbre peculiar y del cual conserva fácil memoria el oído, aun cuando no lo pueda definir.

Las campanas de iglesia tienen, desde tiempo inmemorial, una forma tradicional, por decirlo así, cuyo corte y conjunto se representan en las figuras 353 y 354. La campana japonesa, reproducida en la figura 355, es, como se puede ver, de forma muy distinta de la que tienen las campanas de las iglesias europeas. En éstas, el perfil y los espesores del metal en las varias alturas del instrumento están calculados de modo que el sonido más grave producido por la vibración del borde ó de la *panza* sea la octava grave del sonido del *cerebro*. Véase lo que dice Diderot en la *Enciclopedia* acerca de este asunto:



Fig. 355.—Campana japonesa de Kioto

“No siendo el diámetro del cerebro más que la mitad del de la campana, dará la octava superior á la de los bordes. El sonido de una campana no es un sonido simple, sino un compuesto de varios sonidos emitidos por las diferentes partes de aquella, entre los cuales los fundamentales deben absorber á los armónicos, como sucede en el órgano; cuando se toca á la vez el acorde perfecto *do mi sol*, se hace resonar *do mi sol # si sol si re*, y sin embargo sólo se oye *do mi sol*. La relación de la altura de la campana es como 12 : 15, ó la de un sonido fundamental á la tercia mayor; de donde se deduce que el sonido de la campana se compone principalmente del sonido de sus bordes como fundamental, del del cerebro que está á su octava, y del de la altura que está á la tercia del fundamental. Pero es evidente que estas dimensiones no son las únicas que dan tonos más ó menos graves; en toda la campana no hay una sola circunferencia que no produzca un sonido relativo á su diámetro y á su distancia del resto de aquella.”

Por lo demás, el ilustre enciclopedista hace ciertas reservas acerca de las reglas mediante las cuales se pretende determinar el sonido de una campana por su forma y por su peso.

“Para ello, dice, sería preciso calcular también la elasticidad y la cohesión de las partes del metal de que están fundidas, dos elementos sobre los cuales no puede menos de formarse vagas conjeturas.” En resumen, la experiencia ó el oído son los que deciden con más certidumbre.

Los físicos modernos admiten que, en igualdad de circunstancias, las vibraciones de masas de formas semejantes y de la misma materia están en razón inversa de las dimensiones homólogas, y se han basado en esta ley para formar, mediante un conjunto

de timbres ó campanas de varios tamaños, series que emiten las notas sucesivas de las escalas y de sus modulaciones. La figura 356 representa un antiguo instrumento de esta clase al cual se daba el nombre de *sonante*, y cuyos timbres, fijos en una caja que reforzaba sus sonidos, se golpeaban con dos varillas. Es una especie de armónica de campanas de metal.

La armónica de Franklin se compone de una serie de campanas de cristal, ó simplemente de copas, que se hacen vibrar por frotamiento pasando los dedos mojados por sus bordes. Echando mayor ó menor cantidad de agua en cada copa, se obtiene el acorde con la exactitud que se desee.

No hay para qué decir que la mayor parte de estos instrumentos se usan muy poco; á la verdad, son objetos de curiosidad, interesantes sólo como aplicaciones de la acústica musical.

Los juegos ó sistemas de campanas de las iglesias ó de las torres de edificios pú-

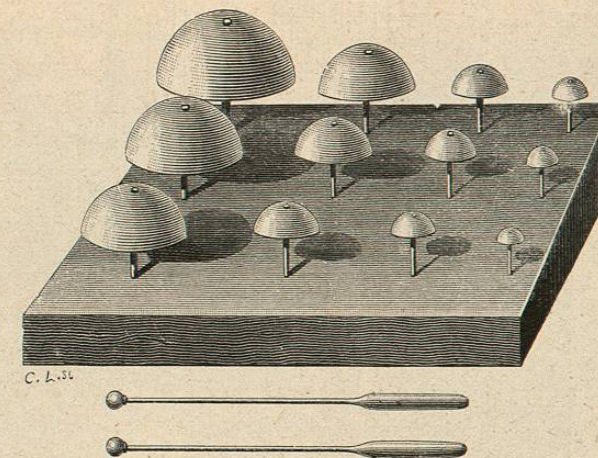


Fig. 356.—Sonante

blicos son instrumentos de la misma clase de los que acabamos de describir; se componen de timbres ó campanas golpeadas con martillos blandos, ya automáticamente mediante los dientes de un cilindro, ó ya directamente por medio de teclas que se hacen funcionar con los dedos como las de un órgano ó un piano, ó ya en fin, como en los juegos de campanas primitivos, con un sistema de pedales que el ejecutante ponía en movimiento con el puño y con el pie. Los juegos de campanas de teclado constituyen un perfeccionamiento importante sobre los otros dos sistemas: tal es el instalado recientemente en la torre de San Germán l'Auxerrois y que consta de cuarenta y dos campanas de varios tamaños (fig. 358).

En las ciudades del Norte de Francia, así como en otros países, hay relojes públicos en que las campanadas de las horas y de las medias horas van precedidas de un aviso musical, de una pieza de ópera ejecutada por un juego de campanas de mecanismo automático.

Los famosos juegos de campanas de Brujas, de Dunkerque y de otras poblaciones tienen un mecanismo análogo al de las cajas de música, sólo que sus cilindros son enormes y los dientes encajados en sus superficies levantan pesados martillos que caen sobre una serie de campanas acordadas con arreglo á las notas de la escala. El movimiento se comunica á los cilindros por medio de ruedas como las de los relojes;