

vibraciones de la lámina vibrante de la embocadura, roza con las estrías ó trazos de la hoja de estaño, resultando para él movimientos que son la repetición de los mismos que ocasionaron dichas estrías, y como estos movimientos producen vibraciones correlativas en la lámina con la cual se halla tan íntimamente relacionado el punzón, fácil es comprender que de estas vibraciones surgen sonidos que son los mismos que constitu-

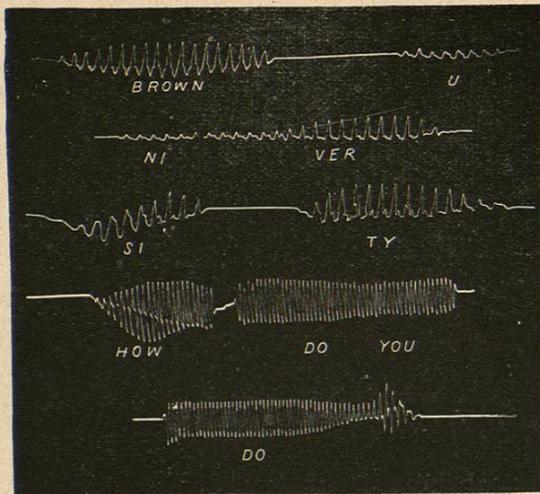


Fig. 290.—Representación de una frase inscrita en el fonógrafo

yen las palabras transmitidas al aparato. La hoja referida puede quitarse y guardarse para repetir las pruebas, que dan sonidos cada vez más débiles porque los trazos se borran pronto.

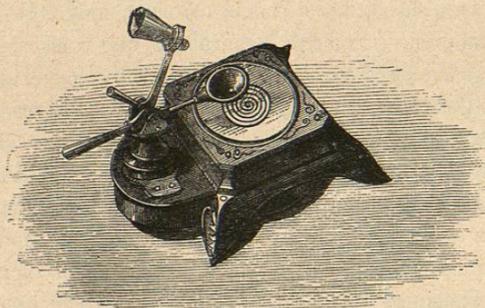


Fig. 291.—Fonógrafo Edison de superficie plana

Un motivo de pérdida en los efectos fónicos en cada una de las pruebas sucesivas consistía en la dificultad de adaptar la hoja al cilindro con la exactitud conveniente. Para obviarla, Edison construyó un nuevo fonógrafo en el cual suprimió el cilindro, verificándose la inscripción en una superficie plana á la cual se aplica la hoja correspondiente por cuatro puntos de apoyo fijos en ella. La placa que reemplaza al cilindro tiene en su centro una ranura en hélice, y uno de cuyos extremos corresponde precisamente al centro de la placa y otro al borde exterior de la curva. El estilete, gracias á un sistema de traslación de que se halla dotada la embocadura, puede recorrer todo el desarrollo de dicha curva á partir del centro hasta la circunferencia.

II

DISTINCIÓN ENTRE LOS SONIDOS MUSICALES Y LOS RUIDOS

Dase generalmente el nombre de *sonidos musicales* á los que pueden ser comparados entre sí por lo que respecta al *tono* ó *altura*, y el de *ruidos* á las sensaciones auditivas cuyo grado de agudeza ó gravedad no puede apreciar el oído. Esta distinción, que cualquiera hace fácilmente, ¿admite una definición científica ó sólo dimana de la imperfección, de la falta de sensibilidad ó de experiencia del órgano del oído? En una palabra, ¿hay una diferencia específica, esencial, entre un ruido y un sonido musical?

Empecemos por presentar algunos ejemplos de los caracteres de sensación.

El choque de dos piedras una contra otra, y en general el de dos cuerpos sólidos poco elásticos ó de forma irregular, el ruido de un carruaje sobre el empedrado, el chasquido de un látigo, las detonaciones de materias explosivas, el mugido del oleaje, el silbido del viento en los bosques, etc., etc., son ruidos para todo el mundo. Parece imposible, al menos á primera vista, asignar el tono, la altura musical de estas clases de sonidos. Sucede naturalmente lo contrario respecto de los sonidos que emiten los instrumentos de música, por cuanto la construcción de éstos, ya sean de cuerda, de madera ó de metal, tiene precisamente por objeto la producción de sonidos comparables con relación á su tono, no obstante para esta cualidad esencial las diferencias de timbre ó de intensidad.

Todavía no sabemos en qué consiste el ruido; pero acabamos de ver que la altura musical de un sonido tan sólo depende de un elemento, de la rapidez de la vibración que anima las moléculas del cuerpo sonoro, y que éste transmite regular, periódicamente al oído. Siendo conocido el número de estas vibraciones isócronas, es fácil determinar la altura del sonido. Hemos visto que la sensibilidad del oído es limitada, que no podemos comparar y percibir los sonidos musicales sino cuando el número de vibraciones simples está comprendido entre 32 y 73,000; pero la cuestión de sensibilidad no influye para nada en la naturaleza de la vibración del cuerpo sonoro.

Cuando se oye solo, aislado, un sonido musical, la sensación auditiva es constantemente semejante á sí misma; verdad es que pueden variar la intensidad y el timbre, pero persistiendo siempre el número de vibraciones y su sincronismo. Así lo expresa Helmholtz en su *Teoría fisiológica* de la música: "Una sensación musical afecta al oído como un sonido perfectamente tranquilo, uniforme é invariable; mientras dura, no se puede distinguir ninguna variación en sus partes constitutivas."

La mezcla de dos ó muchos sonidos musicales independientes produce también la sensación de un sonido musical, la cual es más ó menos agradable, según la relación de los tonos de los sonidos componentes. Puede haber disonancia sin que el oído deje de conocer que se trata de sonidos comparables entre sí por lo que respecta á la altura. Sin embargo, la mezcla de sonidos discordantes produce en este caso una impresión muy parecida á la sensación del ruido, y que lo parecerá tanto más cuanto más corta sea la duración de cada sonido elemental.

Si se tocan á la vez, brusca y rápidamente, todas las teclas de un piano, ó se las recorre con ligereza desde la primera hasta la última, la cacofonía que resultará se asemejará mucho á lo que llamamos ruido. Lo propio sucederá con un violín, si se pasa muy de prisa el dedo de un extremo á otro de la cuerda tocada con el arco, y aun

cuando se conoce que la especie de quejido que resulta está formado de sonidos musicales, el oído recibe sin embargo una impresión análoga á la del viento que zumba ó muge, subiendo y bajando. Así pues, la transición del sonido al ruido parece efectuarse de un modo insensible, de lo cual podría deducirse que ciertos ruidos son mezclas de sonidos musicales, combinados irregularmente fuera de las leyes de la armonía. En este caso, la causa física del sonido deberá proceder de la coexistencia en el aire de un número mayor ó menor de vibraciones, cada una de las cuales puede ser periódica, sincrónica, pero sin que medie ninguna relación simple en sus períodos.

Parece haber otra causa para la sensación del ruido, ó si se quiere, para la dificultad que el oído experimenta en apreciar el tono del sonido; esta causa consiste en la extraordinaria rapidez de la conmoción sonora. El ruido de un martillazo descargado sobre piedra ó madera, el choque de dos piedras, el chasquido de un látigo, la detonación de un arma de fuego, parecen hallarse en este caso. En las cátedras de física se hacen varios experimentos que demuestran que la imposibilidad de apreciar el tono de estos sonidos es sólo relativa, porque la duración de su impresión en el órgano auditivo es sobrado corta; pero si se hacen suceder varios ruidos de este género, dicha imposibilidad desaparece. Tomemos, por ejemplo, siete pedazos de madera de forma y dimensiones convenientes; si los tiramos uno tras otro á la calle, el oído solamente percibirá ruidos, cuyo tono no puede apreciar; pero si los arrojamos sucesivamente por orden de mayor á menor, se nota la *gama* de los sonidos tal como se emplea en música. El primero, el tercero y el quinto tirados del mismo modo producen distintamente el *acorde perfecto*. Una prueba por el estilo se hace con tres tubos cilíndricos, cada uno de ellos provisto de un émbolo que entra á frotamiento. Si se levanta bruscamente el émbolo de un tubo, el oído no percibe más que un ruido; pero si se sacan rápidamente los tres uno tras otro, empezando por el cilindro mayor, el oído percibirá tres sonidos que forman también el acorde perfecto, con tal que se haya calculado convenientemente la longitud relativa de los tubos.

Cuando se inclina una botella casi llena de agua, como para verter el líquido, penetran sucesivamente en su interior burbujas de aire, y la introducción de cada una de éstas produce un solo ruido; pero si se las hace penetrar rápidamente, se advierte con facilidad que estos sonidos pasan del grave al agudo, siendo entonces comparables con relación á su tono. Véanse otros dos ejemplos tomados de la *Física* de M. Daguín: "Si se castañetean los dedos haciendo caer bruscamente el medio entre la base del pulgar y el anular apoyado en ella, se puede reconocer la quinta ó poco menos subiendo y bajando suavemente el meñique de modo que alargue ó acorte la columna de aire contenida entre los dedos. Si se forman sobre una mesa dos pompas de jabón hemisféricas, llenas de una mezcla de oxígeno é hidrógeno y cuyos diámetros sean entre sí como 1 es á 2, al inflamarlas una tras otra se reconocerá el intervalo de la octava.,,"

No cabe, pues, duda de que si se ejercita con asiduidad el oído, se llegará en muchos casos á evaluar la altura de sonidos que, considerados aisladamente, son simples ruidos, y á clasificarlos en el número de los sonidos musicales.

Savart ha procurado averiguar el límite de brevedad de la duración de los sonidos por lo que respecta á la posibilidad de apreciar su tono, y de sus experimentos, hechos con la rueda dentada, ha deducido que es posible dar el tono de un sonido cuya duración no exceda de una cincmilésima de segundo.

Parece, pues, que el ruido difiere del sonido musical, ora porque lo produce una mezcla de sonidos discordantes, ora porque la duración es sobrado corta para que el

oído aprecie el tono del sonido simple que lo constituye. Acabamos de citar ejemplos que justifican la segunda hipótesis. He aquí otros que vienen en apoyo de la primera, y cuyos experimentos se deben también al célebre Savart. Para analizar los ruidos (1), para separar entre sí los sonidos confusos de que se les suponía formados, alejábale aquél á distancias variables de una superficie en la que se reflejaban los sonidos, por ejemplo, de una pared vertical. De este modo reconoció que predominan los agudos si el oído está más cerca de la pared reflectora, y que los más graves se distinguen mejor á medida que el oído se separa de ella. El rumor de las olas, el ruido causado al arrugar un papel que tenía en la mano, analizados de este modo, le hicieron ver que se componían de una porción de sonidos que, separados, eran comparables entre sí bajo el punto de vista de la altura ó tono.

Vese, en resumen, que el sonido musical se caracteriza por la uniformidad, la regularidad, la constancia de las vibraciones periódicas é isócronas del cuerpo sonoro, y por consiguiente, de las ondas sonoras que transmiten estas vibraciones al oído. Por el contrario, el ruido es efecto de una mezcla de sonidos discordantes y confusos ó de la extraordinaria brevedad de la duración de un sonido único, brevedad que no permite al oído apreciar su tono. Los sonidos musicales combinados de modo que satisfagan al oído, es decir, con sujeción á las leyes de la armonía, no son ruidos; pero nada se parecería más á éstos que la mezcla de los sonidos musicales resultantes de todos los instrumentos de una orquesta que tocasen á la vez en todos los tonos, sin ritmo, sin armonía, sin compás. Como las vibraciones así coexistentes en el aire se contrariarían de todos los modos posibles, producirían una verdadera cacofonía.

III

PIEDRAS MUSICALES; FENÓMENOS DEL GEBEL-NAGUS; ESTATUA DE MEMNÓN

El sonido producido por un cuerpo sonoro en vibración está tanto más próximo á ser sonido musical cuanto más regulares y simétricas son la forma y dimensiones de este cuerpo, mayor la elasticidad de la materia que lo constituye, y más homogeneidad tiene ésta. También parece entrar por algo en ello el modo cómo se originan las vibraciones. Así, por ejemplo, una piedra arrojada contra el suelo no suele producir más que ruido; pero si se la dispara con una honda, gira sobre sí misma y el zumbido que de ello resulta es un sonido de tono apreciable; otro tanto sucede si tirando la piedra sobre un suelo duro, resistente y por consecuencia dotado de cierta elasticidad, se tiene cuidado de imprimirla una rápida rotación sobre sí misma al lanzarla. Si se la hace rebotar sobre la superficie del agua de un estanque ó charca cubierta de una capa de hielo bastante gruesa, se percibe una sucesión de sonidos que tienen todo el carácter de sonidos musicales; pero en este caso la capa elástica del hielo entra por algo en el fenómeno.

Colgando de un modo adecuado algunas piedras y haciéndolas chocar, producen á veces sonidos musicales. He aquí varios ejemplos relativos á tan singular propiedad, que tomamos del periódico *La Naturaleza*:

"M. Ricardo Nelson escribe al periódico inglés *Nature* una interesante carta en que

(1) Cuando nos ocupemos de la teoría del timbre, veremos cómo ha podido analizar Helmholtz los sonidos compuestos con un aparato muy sencillo, al cual da el nombre de *resonador*.

habla de ciertas piedras musicales que se encuentran con frecuencia en los alrededores de Kendale, población inmediata á Láncaſter, en el Westmórelaſd. Paſeándome por las cercanías de Kendale por montes y riſcos, dice eſte obſervador, he tenido muchas veces ocaſión de recoger ciertos guijarros que aquí llaman "piedras musicales.". Son por lo común aplanadas, desgastadas por el tiempo y de raras formas; cuando ſe las golpea con un hierro ó con otra piedra, emiten un ſonido musical, muy diferente del ſonido ſordo que produciría un guijarro cualquiera. Los ſonidos que resultan ſon por lo regular baſtante parecidos, pero ſe de algunas perſonas que tienen ocho piedras de éſtas, las cuales, golpeadas ſucesivamente, dan una octava muy clara y muy diſtinta.—Recordamos, añade el periódico francéſ, haber viſto en París, en una fieſta pública, un físico callejero que tocaba trozos de música golpeando con una barrita de hierro ciertas piedras colgadas de hebras de ſeda. Los ſonidos obtenidos eran límpidos y puros, y los guijarros ſilíceos de formas irregulares.,

Éſtas piedras armónicas no tienen nada de miſterioſo; ſu ſonoridad tiene ſeguramente por cauſa la homogeneidad y la elasticidad de la eſpecie mineral que las constituye. He aquí otro caſo que nos explicamos menos, lo cual quizáſ conſiſta en lo obſcuro de la deſcripción: "A un músico diſtinguido, M. M. Elwart, ſe le ha ocurrido la idea de dar una palmada en el pilón de la fuente del patio de honor del Instituto, y ha reconocido que eſte pilón emite un ſonido que correſponde con extraordinaria precisión al *acorde perfecto mayor* de fa natural., Que un ſonido eſté al uníſono con el que los músicos llaman el *fa*, convenido; pero que forme por ſí ſolo un acorde perfecto, eſ cosa que parece muy rara y que el redactor de *La Naturaleza* no explica.

He aquí otro caſo no menos curioso, que copiamos de la miſma Revista y que fué obſervado por el capitán Palmer en las vertientes del Gebel-Nagus, colina arenosa inmediata al Sinaí: "La extensión de la colina arenosa llega haſta 60 metros de altura. La arena parece poco diferente de la del deſierto circunvecino; ſus granos, baſtante gruesos, ſon reſiduos de cuarzo, de la miſma naturaleza que la de las rocas de las cercanías, quebradizos, de fractura amarillenta y quemados por el ſol. Éſta arena eſ tan homogénea y tan ſuelta, que baſta el paſo de un hombre ó de una acémila ó una ráfaga de viento para que en aquella cuesta de unos 29° de inclinación reſulte un deſprendimiento de arena que produce un largo reguero. A veces también el exceſo de calor combinado con la lluvia produce una ſeparación de la capa ſuperficial con las partículas arenosas. Cuando el movimiento de la arena eſ algo intenso, ſe forman pequeñas ondulaciones de ſiete ú ocho centímetros de altura, que en cierto modo parecen como ſi corriera aceite ú otro líquido eſpeſo por un cristal trazando curvas y feſtones variados. Entonces ſe oye un ruido extraño; leve al principio, aumenta con la rapidez de progreſión de la arena, haſta que, llegando al máximo de intensidad, eſ perceptible á alguna diſtancia, y dura mientras la arena continúa reſbalando por la cuesta.

„Éſte ſonido eſ difícil de deſcribir; no eſ metálico ni vibratorio (1); pareceſe más bien á las notas más agudas de un arpa eólica, ó al chirrido que ſe produce al paſar con fuerza un tapón de corcho por un cristal mojado; también ſe le podría comparar con el ruido del aire expulsado rápidamente de un fraſco vacío; y ora produce al oído del viajero el efecto de un trueno remoto, ora el de los ſonidos graves del violoncelo. Parece que el capitán Palmer obſervó que las capas ſuperficiales eran más aptas para

(1) No comprendemos lo que entiende el narrador por la fraſe *no eſ metálico ni vibratorio*, por cuanto todo ſonido ha de ſer preciſamente lo último.

la ſonoridad que las ſubyacentes. La arena, á la temperatura de unos 40°, eſ muy movidiza por cuanto la ſequía la hace reſbalar con mayor facilidad; ſi la arena ſe deſliza cuando hay un poco de humedad en ſu ſuperficie, el ruido eſ imperceptible.,

En ſuma, aquí vemos un fenómeno acúſtico análogo al de la rueda dentada de Savart, eſ decir, una multitud de choques, ſucesivos en el primer caſo, ſimultáneos á la vez que ſucesivos en el ſegundo, que engendran un ſonido musical. El choque eſ más claro y los granos más elásticos cuando la arena eſta ſeca, lo cual ſe comprende: pero lo que el obſervador no dice y hubiera convenido ſaber eſ ſi el ſonido variaba de tono como variaba de intensidad á medida que crecía la rapidez deſcendente del reguero de arena.

Una antigua tradición aſegura que al ſalir el ſol, cuando los primeros rayos del

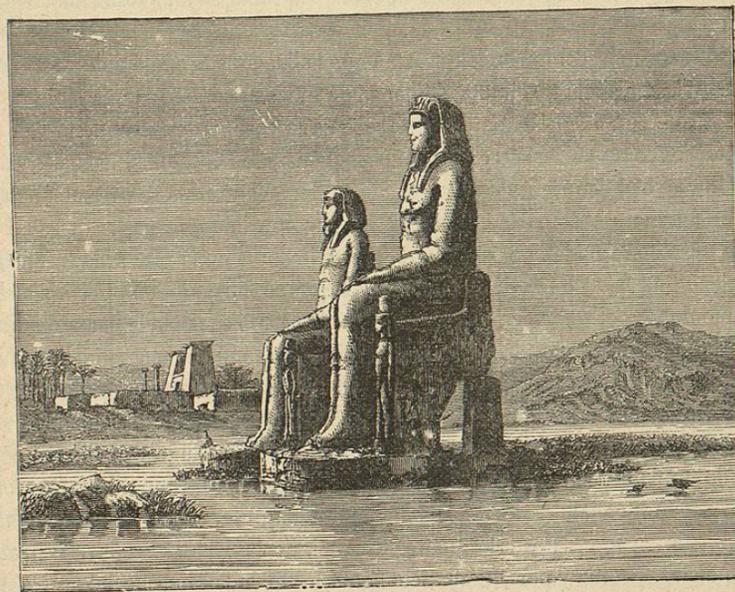


Fig. 292.—Estatuas de Memnón

astro daban en la estatua colosal de Memnón, en la Tebas egipcia (fig. 292), emanaban ſonidos armonioſos de la boca divina del dios, fenómeno que el populacho tenía por milagroso. Aún ſubsisten reſtos de dicha estatua, pero ignoramos ſi eſtán dotados todavía de tan ſingular propiedad, lo cual no obſtaría para la realidad del fenómeno. Acabamos de ver que ciertas piedras eſtán dotadas de ſuficiente ſonoridad para merecer el nombre de *piedras musicales*; y además ſe concibe que la elevación deſigual de temperatura de varias partes del granito de la estatua ocaſione á la ſalida del ſol dilataciones parciales, y que reſulten de ellas movimientos moleculares parecidos á los del instrumento de Trevelyán.

Por eſto también ciertas eſtufas de palastro, caldeadas con deſigualdad en ſus diferentes partes, emiten por momentos ſonidos muy diſtintos. Se ha expreſado aſimismo la opinión de que el aire contenido en las grietas de la piedra, caldeado por los rayos ſolares, puede entrar en vibración, reproduciendo aſí el fenómeno de las llamas cantantes. Pero antes de diſertar ſobre la cauſa probable del hecho, convendría cerciorarſe de ſu realidad.

IV

LLAMAS SONORAS Ó CANTANTES. — LLAMAS SENSIBLES

¿Qué es una llama? La incandescencia de una vena ó chorro gaseoso que se desprende de un cuerpo á temperatura elevadísima. Por esta definición se echa de ver al punto la analogía que existe entre este fenómeno y el de la salida ó desagüe de una vena ó de un chorro líquido. El primer movimiento va acompañado de vibraciones que nacen en el seno del líquido y que, comunicándose al aire ambiente, le hacen vibrar á su vez produciendo sonidos. Podía, pues, suponerse que en el seno de las llamas se engendraran vibraciones semejantes, pero faltaba comprobar su manifestación como vibraciones sonoras.

Ciertos casos muy comunes demuestran que la llama va acompañada por lo regular de ruidos. Así, por ejemplo, en una chimenea de mucho tiro se oye una serie de ruidos cadenciosos que cesan si la llama cesa: si se baja la cortina de la chimenea, el sonido es más intenso, como en las aberturas muy pequeñas de las estufas, lo cual consiste en que, siendo mayor la corriente de aire, activa la llama; entonces se percibe un zumbido sonoro que adquiere hasta cierto punto el carácter de sonido musical.

“Si se pasa con rapidez por el aire, dice Tyndall, una bujía que arda tranquilamente, se obtiene una faja de luz denticulada, oyéndose al mismo tiempo un sonido casi musical que denota el carácter rítmico del movimiento. Si se sopla la llama de una bujía sin apagarla, el ruido producido por su agitación indica también una agitación rítmica.”

Todo esto se conocía ya; pero no se ha empezado á estudiar científicamente los sonidos que acompañan á las llamas hasta que se hizo el experimento llamado *armónica química*, el cual consiste en la producción de un sonido musical por medio del desprendimiento de un chorro de hidrógeno inflamado cubierto con un tubo de cierta longitud (fig. 293). Según Tyndall, el doctor Higgins fué quien observó por primera vez tan extraño fenómeno en 1777. Posteriormente, Chladni, de la Rive, Faraday, Wheatstone, Rijke, Sondhaus, Kunth, y por último, Schaffgotsch y Tyndall han hecho acerca de este asunto observaciones que vamos á resumir sucintamente.

Ocupémonos ante todo del experimento fundamental que consiste en introducir una llama en un tubo de cristal largo y ancho, de modo que se puedan ver los movimientos del chorro gaseoso. Tan luego como la llama, hasta entonces tranquila é inmóvil, ha penetrado en el interior del tubo, se la ve disminuir de longitud, recobrar luego su anterior dimensión y encogerse de nuevo, siendo cada vez más rápidos estos movimientos de oscilación. De pronto se oye un sonido continuo, de intensidad sostenida y de carácter claramente musical (1). Entonces la llama parece quedar tan tranquila como antes de introducirla en el tubo, como si después de haber dado origen con sus vibraciones propias á las de la columna de aire, hubiera dejado de moverse. Pero no sucede así; en realidad sigue vibrando, mas la rapidez de sus oscilaciones es tal que la vista no percibe sino una sensación continua. Fácilmente se prueba que es así, para lo cual el

(1) Con el aparato de Rijke (fig. 294) se obtiene en un tubo de cristal un sonido cuyo origen tiene cierta analogía con el del sonido de una llama cantante. Este sonido se produce cuando se ha calentado al rojo una especie de fina red metálica fijada á la tercera parte de la altura del tubo y se ha retirado la llama de alcohol con la cual se ha producido la elevación de temperatura: cuando la red se enfría, el sonido se extingue.

medio más sencillo es mirar la llama, ya á la simple vista ó ya con un antejo, moviendo la cabeza de un lado á otro. También se puede examinar la imagen de la llama con un espejo giratorio, según el método de Wheatstone. En ambos casos, si la llama estuviese inmóvil y conservara una longitud constante, el ojo experimentaría la sensación de una faja luminosa continua, de la misma altura que la llama; y así es como aparece en una atmósfera tranquila.

No sucede así cuando el sonido resuena en el tubo; entonces se ve una serie de llamas separadas por intervalos oscuros, y luego, en estos mismos intervalos, otras llamas más pequeñas y pálidas.

“Cada imagen, dice Tyndall, se compone de una punta amarilla sustentada por una base de un color azul magnífico.”

Es por tanto evidente que las vibraciones del gas se manifiestan por una serie de extinciones y reapariciones de la llama, ó por lo menos, si la extinción no es completa, como lo prueban los resplandores menos vivos de los intervalos oscuros, por cambios periódicos de tono y brillo. A veces no es posible ver ningún destello luminoso entre dos imágenes consecutivas.

Si se introduce la llama en el tubo más de lo conveniente, sus agitaciones adquieren mayor amplitud, y rechazándola entonces el aire al interior del tubo, acaba por apagarla. Asimismo sucede que la extinción de la llama va acompañada de una violenta explosión parecida á un pistoletazo (1). Fácil es comprender la explicación de este fenómeno. “Supongamos, dice Maurat, que en la primera parte de una vibración el aire entra en el mechero rechazando la llama ante sí, pero sin enfriarla lo suficiente para apagarla; durante la segunda mitad de la misma vibración no saldrá ya del tubo gas puro, sino una mezcla de gas y aire, y su inflamación deberá producir una verdadera detonación (2).”

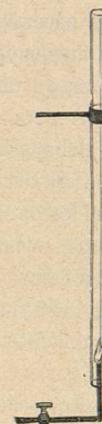


Fig. 293.—Llama cantante ó manométrica

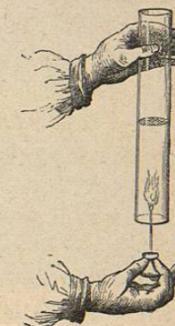


Fig. 294.—Aparato de Rijke

(1) Con un tubo de 4^m,50 de longitud y de un decímetro de diámetro, y un gran mechero de gas de Bunsen terminado á modo de regadera, obtuvo Tyndall un sonido de tal intensidad, que hizo retremblar el pavimento y los muebles de la habitación, “y hasta mis oyentes en sus asientos,” añade el célebre físico.

(2) “Observemos acerca de este asunto, dice el mismo profesor, que la mezcla de aire y gas se efectúa siempre más ó menos completamente en una llama cualquiera, aun ardiendo al aire libre, y no solamente en la superficie, sino en una región muy extensa, puesto que comprende toda la parte luminosa. Si no sobreviene explosión, consiste en que se establece cierto equilibrio entre la llegada del gas y el aflujo del aire exterior, de suerte que los mismos puntos del espacio son asiento de un fenómeno de combustión que no varía notablemente de un momento á otro. No sucede lo propio tan luego como la corriente gaseosa vibra con fuerza. Las velocidades de que están entonces animados el gas y el aire ambiente y que son alternativamente de sentido contrario, favorecen mucho su mezcla. La combustión es, pues, intermitente é instantánea, es decir, que se verifica en virtud de una serie de pequeñas explosiones. La última de ellas, ó sea la que produce la extinción de la llama, debe ser por esto mismo de intensidad excepcional, puesto que va inmediatamente seguida de una disminución considerable en el volumen de la vena gaseosa, consecuencia de su enfriamiento repentino.”