

CAPÍTULO III

MÉTODO HERTZIANO

«SUS FUNDAMENTOS»

22. Teoría de *Maxwell*.—23. Ondas eléctricas.—24. Proyecto experimental de *Hertz*.—25. Descarga oscilante.—26. Excitador de *Hertz*.—27. Resonador.—28. Ondas eléctricas estacionarias.—29. Experiencias diversas.—31. Tubos de limaduras.—34. Teorías de *Lodge* y de *Branly*.—35. Avisorador atmosférico de *Popoff*.—36. Transparencia y opacidad eléctricas.

22. Teoría de Maxwell. El sabio físico inglés *Maxwell* demostró, por medio de investigaciones teóricas, que toda perturbación eléctrica en un conductor se extiende á cierta distancia en todos sentidos, por medio de vibraciones en el *éter* que lo rodea (1).

(1) *James Clerk Maxwell*, célebre profesor de física experimental en la Universidad de *Cambridge*, nació en 1831 y murió en 1879, siendo uno de los muchos sabios que honran á la raza anglo-sajona. Fué discípulo de *Faraday*, y, como él, rechazó siempre la idea de las acciones á distancia. *Maxwell* no veía en los fenómenos eléctricos y magnéticos, sino perturbaciones del *éter* interpuesto entre los cuerpos, y sentó los cimientos de la teoría que engloba todos los fenómenos de la electricidad, el magnetismo y la luz.

A *Maxwell* le corresponde la gloria de ser el primero que científicamente ha demostrado la existencia de las ondas eléctricas, fundamento de la actual telegrafía sin hilos.

Demostó también, por consideraciones matemáticas, que estas vibraciones ú ondulaciones etéreas, son análogas á las que producen la luz, se propagan con la misma velocidad, y se diferencian solo de éstas en su mayor longitud y duración (1).

23. Ondas eléctricas. Para formarse idea del movimiento ondulatorio del *eter*, tal como lo entienden los físicos, supongamos que en un punto *a* (fig. 15)

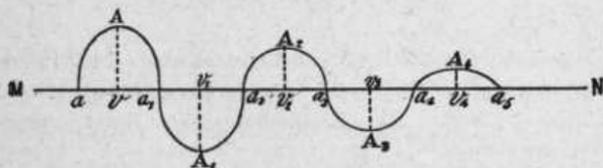


FIG. 15.— Movimiento ondulatorio

del espacio se verifica una perturbación eléctrica; y sea *MN* una de las infinitas direcciones en que se propaga.

El fenómeno es análogo al que ocurre en una superficie de agua tranquila, si sobre ella se lanza una piedra que cae en el punto *a*. El choque de la piedra producirá una serie de subidas y bajadas del líquido

(1) Rechazada la idea de las acciones á distancia, que al gran *Newton* ya repugnaba, se admite la existencia del *eter* como un medio necesario para transmitir, no solo la electricidad, sino todas las fuerzas de la naturaleza. Este medio invisible é impalpable; fluido material, y por lo tanto inerte; pero enrarecido hasta el mayor extremo, y dotado de una grandísima elasticidad, debe llenar el universo entero: lo mismo los espacios enormes que separan á los astros, que los diminutos huecos intermoleculares de los cuerpos.

que ondularán la superficie, formando círculos concéntricos, es decir, que la propagación será, á partir de a , igual en todos los sentidos del plano horizontal, sin transporte de las partículas de agua hacia ninguno de ellos. Esto es fácil comprobarlo en los pequeños objetos flotantes sobre el líquido á los cuales alcanza la perturbación causada por la caída de la piedra; en efecto, dichos objetos, aunque tienen movimiento oscilatorio vertical, nunca son arrastrados en el sentido horizontal.

Lo mismo ocurriría si tuviéramos una cuerda tendida en el sentido MN , que, asida por un punto a , la separaremos de la línea recta, dejándola después en libertad. El movimiento ondulatorio se propagaría de un extremo á otro de la cuerda, sin transporte de la materia que la compone en el sentido de su longitud.

En ambos casos, y considerando solo la dirección MN de la propagación, se verificará el movimiento en un plano único, que, refiriéndonos al agua, es el plano vertical. Las partículas sucesivas de agua van entrando en oscilación según la curva que representa la figura, formando ondas consecutivas de igual longitud; aunque amortizándose, es decir, disminuyendo la amplitud de la oscilación en el sentido vertical hasta extinguirse á cierta distancia del punto a .

Análogo movimiento producirá en las partículas de *eter* la perturbación eléctrica; pero la ondulación no será en un plano único, sino en todos los que pasan por la dirección radial MN ; es decir, que las ondas serán esféricas como las formadas si la curva sinuosa $a A a_1 A_1 \dots$ girase alrededor de MN .

La vibración es, pues, transversal, ó sea, en un

plano perpendicular á la direcci3n en que se propaga; pero en todas las direcciones contenidas en este plano. En otros t3rminos, si la propagaci3n se verifica seg3n el eje de una rueda, las vibraciones estar3n todas en el plano de dicha rueda, y seg3n las direcciones de todos sus radios.

La *longitud de la onda* es una cualquiera de las distancias $a, a_2, v, v_2, a_1, a_3, v_1, v_3, \dots$ entre dos ondas consecutivas; 3, lo que igual, el camino recorrido por una onda durante el tiempo de una oscilaci3n completa del eter.

El n3mero de ondas que se propagan en un segundo es la *frecuencia*, y el intervalo transcurrido para la propagaci3n de una onda es el *per3odo*. Si la frecuencia es n y el per3odo es t , expresado en fracci3n de segundo, ser3:

$$n = \frac{1}{t} \text{ 3 } t = \frac{1}{n}$$

Adem3s, si v es la velocidad de las ondas, igual seg3n hemos dicho á la de la luz, y λ es la longitud de la onda, ser3:

$$\lambda = \frac{v}{n} = v \cdot t$$

24. Proyecto experimental de Hertz. La existencia de las ondas el3ctricas, que adivin3 *Maxwell* con su profunda intuici3n, fu3 comprobada pr3cticamente por el malogrado profesor alem3n *Hertz*, á quien por esto se le ha concedido el honor de dar su

nombre al nuevo método de telegrafiar á través del espacio (1).

La estructura de las ondas eléctricas es igual á la de las luminosas, y su velocidad de propagación es exactamente la misma; la única diferencia entre unas y otras consiste en su diversa longitud y duración, como ya tuvimos ocasión de manifestar; pero esta diferencia es enorme. En efecto; la longitud de las ondas eléctricas puede variar entre los límites amplísimos de un milímetro, ó menos, hasta miles de kilometros, y las luminosas solo alcanzan longitudes de ondas representadas por ínfimas fracciones de millonésimas de milímetro. Asimismo, las ondas eléctricas se reproducen con la frecuencia, relativamente lenta, de *cien mil á un millón* por segundo, y las luminosas ocurren de *cuatro á siete mil billones* en igual intervalo (2).

Debido á estas grandes diferencias que caracterizan á ambos sistemas vibratorios, las ondas eléctricas no pueden impresionar la retina, y no son, por lo tanto

(1) *Heinrich Hertz*, nació en *Hamburgo* el 22 de Febrero de 1857, y murió el 1.º de Enero de 1894; por lo tanto, á la temprana edad de 37 años. Fué profesor de física en *Bonn (Alemania)*, donde ocurrió su fallecimiento. Este triste suceso ha sido una gran pérdida para la ciencia, pues interrumpió los importantísimos trabajos en que el sabio se ocupaba.

(2) No es solo un fenómeno eléctrico el que se verifica en el caso de una perturbación eléctrica como la que venimos considerando, sino que simultáneamente tienen lugar acciones magnéticas que se unen á las eléctricas, y realmente se forman *ondas electro-magnéticas*. Sin embargo, nosotros prescindiremos de este rigorismo, y les llamaremos siempre *ondas eléctricas*, con lo cual nada se perderá para la buena inteligencia de lo que nos proponemos enseñar en el presente libro.

visibles. Sabido es que la frecuencia de las vibraciones de las ondas luminosas que producen los diferentes colores simples en que se descompone la luz blanca, vá creciendo desde el rojo al violeta; y que exteriormente á estos colores existen otros rayos invisibles de menos vibraciones en el extra-rojo, y de más vibraciones en el extra-violeta. Las ondas eléctricas que ahora consideramos, corresponden en la escala creciente de las vibraciones etéreas, á una posición muy inferior al color rojo, y aun á los rayos oscuros caloríficos en el espectro de la descomposición de la luz blanca por el prisma.

Para comprobar la existencia de las ondas eléctricas, ideó *Hertz*, como medio más sencillo y eficiente, demostrar que se pueden reproducir con ellas todos los fenómenos característicos de las ondas luminosas, es decir, la reflexión, refracción, interferencia, etc..... Mas para conseguirlo era preciso, ante todo, ser capaces de obtener ondas de longitud determinada, y elegir ésta de modo conveniente para hacer las experiencias.

Un movimiento eléctrico vibratorio puede obtenerse con las corrientes alternativas producidas por un alternador ordinario; pero alcanzan generalmente una frecuencia de *cien* períodos por segundo; la velocidad de propagación, igual á la de la luz, es de 300.000 kilómetros por segundo; luego la longitud de onda será:

$$\lambda = \frac{300.000}{100} \text{ km.} = 300 \text{ km.}$$

y por grande que fuese el laboratorio ó sala de experimentación, solo podría contener una pequeñísima

fracción de onda, incapaz de poner de manifiesto los fenómenos citados.

Ante tal dificultad, tuvo *Hertz* la inspiración feliz de aprovechar la descarga de un condensador (1) que, en ciertas condiciones, no se hace de un modo continuo, sino por una serie de rápidas descargas alternativas; ó, en otros términos, la descarga es *oscilante*, y mediante ella se producen las ondas eléctricas de longitud determinada.

Esta propiedad de la descarga de los condensadores fué descubierta en *Alemania* por *Helmholtz* en 1847 (2); explicada teóricamente por *Sir W. Thomson (Lord Kelvin)* en 1853, y verificada experimentalmente por *Federsen* en 1858.

25. Descarga oscilante. Procuraremos dar una breve idea elemental del fenómeno.

Una *botella de Leyden* (*fig. 16*) (3), que es una forma de condensador eléctrico bien conocida, la suponemos cargada. Con un terminal del arco



FIG. 16. — Botella de Leyden

metálico tocamos la armadura exterior de la botella, y

(1) Véase Apéndice II.

(2) *Von Helmholtz* fué amigo y maestro de *Hertz*.

(3) Véase Apéndice II.

el otro terminal lo acercamos al de la armadura interior. Cuando la aproximación de ambos terminales sea suficientemente pequeña, saltará entre ellos una *chispa* acompañada de un ruido seco y característico; la diferencia de potencial entre ambos terminales se habrá anulado; ó, en otras palabras, la botella se habrá descargado.

Esta descarga se llama *disruptiva*, y la forma, y aun el calor de la chispa, es diferente según la distancia entre los terminales, su forma, su naturaleza, y,

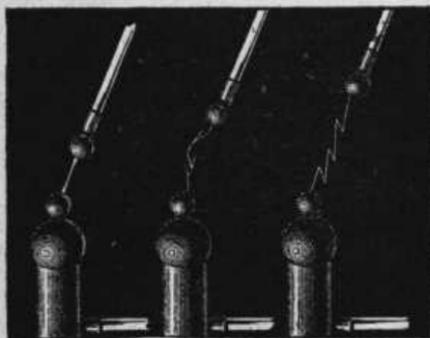


FIG. 17.--Descarga eléctrica

por fin, la del dieléctrico que los separa. Si la descarga tiene lugar entre dos esferillas metálicas separadas solo por un corto intervalo, aparece la chispa como una simple raya fina y brillante; pero si la separación es algo mayor, por ejemplo, de unos cuantos centímetros, la chispa toma una forma irregular con ramificaciones, ó en zig-zag. En todo caso, la chispa marcha por las líneas donde halla menor resistencia, y la presencia de las partículas de polvo en el aire es bastante para explicar su curioso carácter, que la figura 17 manifiesta en sus tres formas más usuales.

Además, en algunos casos, la descarga no será con-

tínua, sino que la diferencia de potencial puede cambiar de sentido repetidas veces y verificarse descargas alternativas; es decir, que después de haber ocurrido la descarga en un sentido, y anulada la diferencia de potencial, la electricidad rebasará la posición de equilibrio y continuará marchando en el mismo sentido hasta llegar á una nueva máxima diferencia de potencial en sentido contrario á la primera. Entonces se verificará nueva descarga, y emprenderá nueva marcha la electricidad hasta llegar á la diferencia de potencial máxima en el sentido primitivo, volviendo desde este momento á reproducirse la misma série de fenómenos, con intensidad decreciente, hasta que la descarga se complete. Este movimiento alternativo de la electricidad, guarda analogía con las oscilaciones de un péndulo al separarlo de su posición de equilibrio, y por esto recibe el nombre de *descarga oscilante* la que se efectúa en las expresadas condiciones.

Un fenómeno hidráulico muy conocido, puede también servir para ilustrarnos sobre la modalidad del fenómeno eléctrico.

Dos largos tubos de vidrio T y T' (*fig. 18*) comunican por su parte inferior por medio de otro tubo de cautchouc JJ . Si ejercemos una presión en este tubo que impida la comunicación entre los de cristal, y llenamos la rama T , por ejemplo, de un líquido de color, al aflojar de pronto el tubo J , el líquido pasará con rapidez á la rama T' , y el nivel se igualará en las dos ramas; pero no vendrá el líquido á un estado de equilibrio, sino después de un corto número de oscilaciones alternativamente en los dos sentidos. Estas oscilaciones se atenúan, ó llegan á desaparecer, si se disminuye

lentamente la presión ejercida en J , de modo que ofrezca resistencia á la marcha del líquido. Se comprende que tendrán también influencia en la forma del fenómeno, el estado más ó menos liso de las paredes interiores del tubo, su diámetro interior, la densidad del líquido y su cantidad.

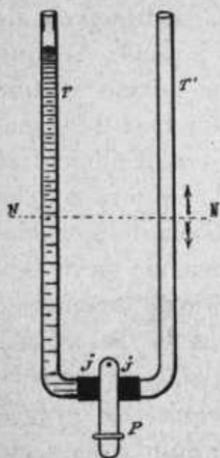


FIG. 18. — Demostración de la descarga oscilante.

De un modo análogo, el enlace de tres elementos del circuito eléctrico, en determinada relación, es lo que contribuye á dar el carácter oscilatorio á la descarga. Estos tres elementos son: la *resistencia*, la *inductancia* y la *capacidad* (1).

Según el estudio teórico, ya citado, del ilustre profesor *Thomson*, en un condensador y en un circuito formado por dos conductores de capacidad G y resistencia R , siendo el coeficiente de inductancia L , la descarga será oscilante cuando se tenga:

$$R < 2 \sqrt{\frac{L}{G}}$$

y siendo muy pequeña, como es lo general, la resistencia R respecto á la inductancia L , el tiempo de una oscilación será:

$$t = 2 \pi \sqrt{CL}$$

26. Excitador de Hertz. Este sabio imaginó que

(1) Véase el Apéndice III.

se podrían realizar oscilaciones eléctricas de la frecuencia y longitud deseadas, procediendo del siguiente modo:

Dos esferas metálicas *A* y *B* (*fig. 19*) aisladas una de otra y constituyendo un condensador, se ligan á los polos de un generador eléctrico que puede ser una máquina electro-estática (1) ó una bobina *Runkorff* (2), el cual establece entre las esferas una diferen-

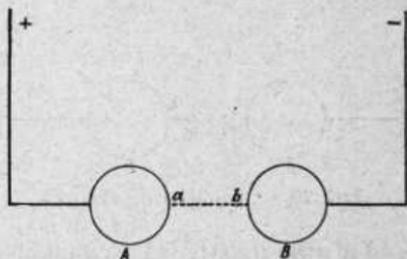


FIG. 19.— Oscilador

cia de potencial. Si se reúnen por un hilo metálico *a b*, á lo largo de él tendrán lugar descargas alternativas, con tal que las dimensiones del aparato satisfagan á las condiciones indicadas por las anteriores fórmulas de *Thomson*; pero de este modo se obtendría un fenómeno de duración muy corta, casi imposible de observar, y *Hertz* para vencer la dificultad interrumpió el conductor *a b*, dejando en su medio un pequeño intervalo *m m'* (*fig. 20*). La descarga se efectuará entonces por una chispa que estallará entre *m* y *m'*, cuando la diferencia de potencial entre las esferas alcance un valor suficiente. Esta chispa juega el papel de un conductor que liga las esferas, con la diferencia de que una vez

(1) Véase el Apéndice IV.

(2) Véase el Apéndice V.

la descarga efectuada, pueden cargarse de nuevo y descargarse enseguida, obteniéndose entre los puntos

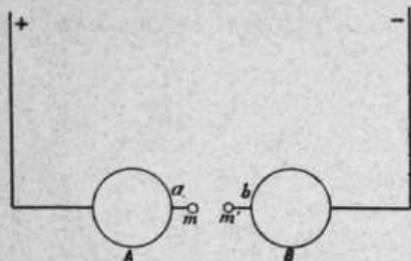


FIG. 20.—Oscilador de Hertz

m y m' una serie de descargas oscilantes que se suceden sin interrupción mientras el generador funciona. Tal es el aparato que *Hertz* ha llamado *excitador* ú *oscilador* de ondas eléctricas.

La duración de las oscilaciones puede determinarse por la segunda de las fórmulas de *Thomson*; puesto que se pueden calcular directamente los valores de C y L , deduciéndolos de las dimensiones del aparato.

En sus primeros ensayos, con esferas de $0,30^m$ de diámetro, colocadas á $1,50$ m. una de otra, obtuvo *Hertz* oscilaciones, cuya duración en segundos era:

$$t = 1,77 \times 10^{-8}$$

y admitiendo que estas oscilaciones se propagan con la velocidad de la luz, será:

$$\lambda = v. t = 300.000 \times 1,77 \times 10^{-8} \text{ Km}$$

es decir, que la longitud de onda era, próximamente, $5,30$ m

27. Resonador. Aunque en ensayos posteriores consiguió *Hertz* reducir la longitud de onda á un valor inferior á $5,30$ m, no obstante, fueron siempre demasiado

lentas las ondas para alcanzar la visibilidad, resultado naturalmente conforme con lo que se expresa en el párrafo 24; y, á fin de demostrar su presencia, ideó otro aparato que pudiéramos llamar el *ojo eléctrico*.

Empleó *Hertz* como *receptor de ondas* un circuito conductor, abierto en un punto, formando un anillo ó un rectángulo (*figuras 21 y 22*) y terminando sus dos extremos por dos esferillas *a* y *b*, muy próximas una á otra.

Si se dispone este circuito, que constituye el *resonador de Hertz*, próximo al excitador en actividad, se producen chispas en la parte interrumpida del circuito metálico. Estas chispas denotan la propagación de una acción eléctrica desde el excitador que la produce hasta el resonador que la revela.

El aparato receptor puede considerarse como un condensador cuyas armaduras estuviesen unidas de un modo permanente por un arco metálico. Al colocarlo dentro del espacio á donde alcanza la actividad del excitador, espacio que se llama el *campo hertziano*, las perturbaciones etéreas producen fuerzas electromotrices de inducción que cargan el condensador, y cuando la diferencia de potencial es suficientemente grande, se verifica la descarga entre los dos terminales *a* y *b*.

Esta descarga es también oscilante, como la del excitador, si las dimensiones del aparato se han elegido bien, de tal modo que entre *a* y *b* surgirá una serie de descargas alternativas, y estas descargas tendrán

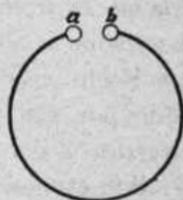


FIG. 21.—Resonador de Hertz

una intensidad máxima si su período es igual al de las oscilaciones que producen las corrientes de carga; pues entonces el condensador se descarga totalmente por las chispas y no por el arco metálico que reúne las armaduras *a* y *b*. Deben, pues, determinarse dichas dimensiones con el fin de que se realicen las circunstancias expresadas, y funcionará el aparato como un resonador acústico, que solo refuerza los sonidos que puede emitir. De esto procede el nombre de *resonador* dado por *Hertz* á su aparato receptor de las ondas eléctricas.

Con estos dos instrumentos, *excitador* y *resonador*, que el profesor *Hertz* empleó para sus experiencias de laboratorio, y que él no pudo, ó no se le ocurrió hacerlos funcionar, sino dentro de distancia muy corta uno de otro, tenemos ya el germen de la telegrafía sin hilos y la justificación del nombre de *hertziano* que dieron los físicos al método más tarde llevado al grado de perfección que hoy alcanza,

En la figura 22 pueden verse los dos aparatos, según los disponía *Hertz*

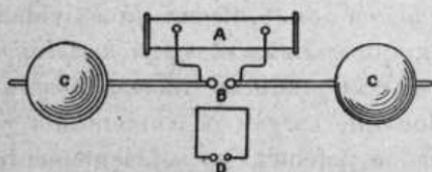


FIG. 22 -- Dispositivo Hertz, para producir ondas eléctricas.

para sus experiencias: *A* es un carrete de inducción cuyo circuito primario está en comunicación con el generador de electricidad—que

puede ser una batería de pilas ó acumuladores; ó también la canalización del alumbrado eléctrico, rebajando su intensidad de modo conveniente—y su circuito

secundario comunica con el oscilador que consiste en un par de varillas de metal terminando en las esferillas *B*. La distancia entre éstas es variable, para ajustarla convenientemente; á lo cual contribuyen también dos esferas grandes *C*, ó también dos placas metálicas que pueden correr á lo largo de las varillas.

Alterando, pues, la posición de las esferas ó placas *C*, puede *acordarse* ó *sintonizarse*, como se explicará más adelante, el oscilador con el resonador. Este consiste, según se vé en las figuras 21 y 22, en el alambre circular ó rectangular con la interrupción *D*, formada también por esferillas muy próximas, casi en contacto.

28. Ondas eléctricas estacionarias. Demostrada la existencia de las ondas eléctricas con los dos aparatos que hemos descrito, se ocupó *Hertz* de medir la longitud y velocidad de propagación de dichas ondas en el espacio: la más difícil y, probablemente, la más importante de sus experiencias. Para ello ideó fijar una placa metálica delante del excitador, y alejar paulatinamente de éste un resonador con su plano paralelo siempre al de la placa.

Poniendo entonces el excitador en actividad, se observa que á cierta distancia de él surgen las chispas en la interrupción del resonador, y que después ván disminuyendo hasta cesar por completo; reaparecen luego las chispas y llegan á estallar de un modo continuo; vuelven á disminuir, á desaparecer, á surgir de nuevo, y así sucesivamente en todo el trayecto que se hace recorrer al resonador, desde la posición ocupada por el excitador hasta la placa metálica. El resonador tiene, pues, en dicho trayecto alternativas de funcio-

namiento y de inactividad, al hallarse en puntos fijos y bien determinados.

Este fenómeno, llamado de las *ondas estacionarias*, es una prueba más de la naturaleza ondulatoria del movimiento del eter en las acciones eléctricas á distancia, y se atribuye á la interferencia de las ondas eléctricas emitidas directamente por el excitador con las reflejadas por la placa. En efecto: disponiendo á conveniente distancia el excitador frente á la placa metálica, las ondas reflejadas por ésta pueden encontrar á las directas con una diferencia en su formación, ó sea, con una diferencia de *fase*, exactamente igual á una semi-longitud de onda, y entonces sus efectos son unas veces en contrario y otras en igual, sentido, es decir, que se anulan ó se suman, resultando alternativamente falta y aumento de energía eléctrica, en los puntos que se llaman *nodos* y *vientres* de las ondas.

Cuando las chispas estallan de un modo continuo en la interrupción del resonador, el aparato está situado en una *sección ventral* de las ondas, y cuando no emite chispas, está en una *sección nodal*.

Se puede comprobar que la distancia entre una sección ventral y la nodal inmediata es constante. El cuádruplo de dicha distancia es la longitud de la onda, (23) que puede medirse, y de ella deducirse la velocidad de propagación. (1)

(1) Por medio de la fórmula de Thomson, $t = 2\pi\sqrt{LC}$, dada en el párrafo 25, se puede hallar á t ; deduciendo C y L de las dimensiones del excitador. Obtenidas t y λ se deduce á v , según lo manifestado en el párrafo 23, puesto que

$$v = \frac{\lambda}{t}$$

29. Puede también hacerse el estudio del campo hertziano de otro modo:

En vez de dejar á las ondas eléctricas emitidas por el excitador propagarse libremente en el espacio, se concentran por medio de dos alambres conductores de cobre paralelos y tendidos á partir del excitador.

Con tal objeto se sitúan á poca distancia de las dos esferas ó placas del excitador (*fig. 23*), dos platinillos metálicos á los cuales ván unidos los dos alambres conductores $f f$, que han de concentrar el campo.

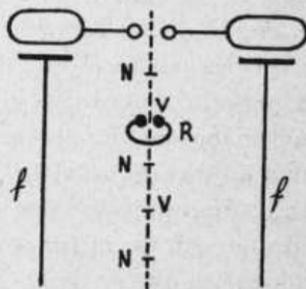


FIG. 23.—Experimento de las ondas eléctricas estacionarias.

En estas condiciones, un resonador R cuyo plano se mantenga perpendicular á la dirección de los alambres, y que paulatinamente vá alejándose del excitador, revela iguales alternativas equidistantes de funcionamiento é inactividad que al hacerle recorrer el trayecto entre el mismo excitador y la placa metálica, según hicimos ver en el párrafo precedente.

El resonador evidencia, como entonces, las ondas eléctricas estacionarias determinadas en el campo hertziano por la reflexión de las vibraciones eléctricas en los extremos de los alambres; solo que ahora los fenómenos son mucho más intensos, y se pueden observar á distancias del excitador mucho mayores.

30. **Experiencias diversas.** Tras muchas dificult-

tades y resultados, al parecer contradictorios, se llegó, por fin, á admitir en definitiva que la velocidad de propagación de las ondas eléctricas es igual sensiblemente á la de la luz; siendo preciso para obtener este acuerdo, que los señores *Sarazin* y *de la Rive*, profesores de *Ginebra*, rectificaran en cierto modo los resultados de las experiencias hechas por *Hertz*.

Según dichos señores, la descarga del excitador no se verifica por medio de una sola série de oscilaciones de período determinado, sino por muchas séries de oscilaciones de períodos diferentes que se superponen unas á otras de un modo análogo á como se forma la luz compuesta de varios colores simples; y demostraron que, con un mismo excitador, basta variar el resonador para que varíe la longitud de la onda y su frecuencia. En otros términos, que, en la multiplicidad de ondas emitidas por un excitador, el resonador solo responde á las de una longitud y frecuencia determinada, permaneciendo inactivo para todas las demás.

Este fenómeno se conoce con el nombre de *resonancia múltiple*, y es análogo al muy conocido de acústica, por el cual un diapasón ó una cuerda tendida, reproduce una cierta nota musical emitida por un instrumento cercano, pero solamente aquélla, y enmudece al emitir otra cualquiera.

En el caso del resonador eléctrico, como en el acústico, se dice que está *acordado* ó *sintonizado* (27) con una cierta longitud de onda, y si se consigue que el excitador emita con preferencia una onda determinada, á ella sola responderá el resonador; ó, al menos, las chispas serán más frecuentes, más intensas y surgirán á mayor distancia entre ambos aparatos.

Más adelante, al tratar de la sintonía, trataremos de este importante asunto, que ocupa hoy la atención de los sabios, y que representa la mayor dificultad que debe vencerse en el problema de la telegrafía hertziana.

30 bis. Luego que hubo realizado *Hertz* sus experiencias sobre la velocidad de propagación de las ondas eléctricas, se ocupó en reproducir con ellas todos los fenómenos que se obtienen con la luz.

Comprobó la reflexión de las ondas sobre superficies metálicas planas; consiguió luego su concentración por medio de espejos cóncavos, y pudo reproducir la experiencia de los espejos conjugados. Reprodujo igualmente la refracción de las ondas con un prisma de asfalto de 1,50 m. de altura y cuya base era un triángulo equilátero de 1,20 m. de lado. Por último, recibiendo las ondas sobre redes metálicas, obtuvo los principales fenómenos de la polarización rectilínea.

Estas experiencias de *Hertz* fueron repetidas y ampliadas por muchos sabios de diversos países, que estudiaron además: la propagación de las ondas eléctricas en conductores metálicos y á través de distintos dieléctricos; las interferencias; la doble refracción; la reflexión total... y otros fenómenos idénticos á los que se efectúan con las ondas luminosas, si bien empleando distintos materiales para reproducirlos y variando la forma y dimensiones de los aparatos empleados. (1)

(1) Citaremos entre los sabios más distinguidos en esta clase de trabajos, al inglés *Mr. Lodge*, del que ya hablaremos más adelante (33) y que hizo experiencias sobre las ondas eléctricas aun antes de conocer las de *Hertz*. Son también dignos de

31. Tubos de limaduras. La reproducción de los fenómenos luminosos con las ondas eléctricas obligó, ante todo, á los experimentadores á disminuir la longitud de onda; pero como la disminución se consigue á costa de la energía transmitida por el excitador, llegó ésta á ser tan débil que fué preciso idear receptores más sensibles.

Los trabajos de los físicos en este sentido se dirigieron primero á mejorar la disposición del primitivo resonador de *Hertz* para favorecer la producción y la visibilidad de las chispas. A fin de lograr tales objetos, se han seguido procedimientos diversos, como son: hacer estallar las chispas en un líquido, ó en el vacío de tubos de *Geissler*; y en una mezcla de cloro é hidrógeno, ó delante de papel yodurado. Se ha recurrido también al acuse, por electrómetros muy sensibles, de la fuerza electro-motriz engendrada; y, por último, se han utilizado los efectos térmicos de las corrientes que producen las ondas, para revelarlas.

32. Después de tan diversas aplicaciones, solo aprovechables para los fines experimentales á que se destinaban, se llegó al fin á descubrir un receptor de ondas, tan sensible y adecuado, que hizo dar un gran avance en el sentido práctico á la telegrafía hertziana. Nos referimos al tubo de limaduras metálicas que se designa con el nombre de *radio-conductor* y también con el de *cohesor*.

mención, en *Inglaterra*, *Mr. Lecher* y *J. J. Thomson*; en *Francia*, *Mr. Turpain* y *Mr. Blondlot*; y en *Italia*, los *Sres. Righi* y *Poche-tino*. Finalmente, los *Sres. Lebedew* y *Bose*, este último profesor en *Calcutta*, que consiguió rebajar la longitud de onda á 6 milímetros.

Los primeros pasos dados hacia el descubrimiento del receptor que nos ocupa, puede decirse que se remontan al año de 1870 en que *Varley* (1) empleó la limadura metálica para proteger los aparatos telegráficos contra los efectos del rayo. Practicaba, con tal objeto, una interrupción en el alambre de línea, y luego la limitaba por dos puntas finas (*fig. 24*); disponía la interrupción dentro de una caja de madera llena de limadura, é instalaba en derivación los aparatos *A* que pretendía amparar. La figura dá cuenta de la disposición del para-rayos *Varley*, fundado en que los contactos imperfectos de las partículas de limaduras presentan una gran resistencia eléctrica á

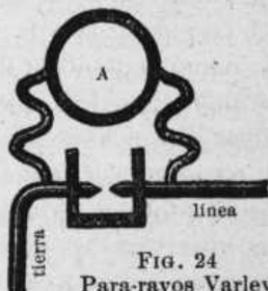


FIG. 24
Para-rayos Varley

las corrientes que de ordinario circulan por los aparatos, y dejan en cambio pasar fácilmente la corriente de altísimo potencial causada por la descarga atmosférica.

Sin embargo, comprobó la experiencia que después de pasar la descarga, sin duda por el calor desarrollado en el circuito, se fundían las partículas metálicas y formaban una masa compacta y conductora; por lo tanto, hubo que renunciar al para-rayos, ya que era peor el remedio que el mal que se trataba de evitar.

33. Más tarde, en 1884, el profesor *Calzecchi-Onesti* (2) estudió la resistencia eléctrica de las lima-

(1) *Mr. S. A Varley*, electricista inglés.

(2) *Calzecchi Onesti*, profesor de física en *Fermo*, ciudad de Italia.

duras metálicas, introduciéndolas dentro de un tubo de sustancia aisladora. Las limaduras, comprendidas entre dos electrodos que cerraban los extremos del tubo, las sometía primero á débiles corrientes; luego, á extra corrientes ó á corrientes inducidas de más alto potencial, y reconoció que después de cada experiencia aumentaba la conductibilidad del conjunto de limaduras, bastando dar una vuelta al tubo alrededor de su eje para restablecer su gran resistencia primitiva.

La publicación de estas experiencias en 1884 y 1885 no llamó la atención de los físicos, y solo cuando *Mr. Branly* (1) en 1890 hizo públicos los resultados de las suyas, fué cuando los trabajos de *Varley* y de *Onesti* se recordaron y apreciaron en su justo valor.

El profesor *Branly*, además de verificar y ampliar las observaciones de *Onesti*, fué el primero que puso en evidencia la acción á distancia (2) de una descarga oscilante sobre la resistencia de un tubo de limaduras, y por esto le ha correspondido el honor de que también se llame *tubo de Branly* á ese receptor ó revelador de ondas hertzianas.

La figura 25 representá el tubo de *Branly* (*Br*), que es de ebonita ó cristal: el empleado por *Mr. Lodge* (3) tenía unos 20 centímetros de largo y 1,5 centímetros

(1) *Mr. E. Branly*, profesor de la Universidad católica de *Paris*.

(2) La frase «acción á distancia», entiéndase bien que significa acción sin enlace material visible entre el excitador y el revelador de ondas hertzianas; pero reconoceremos la existencia del *eter* como vehículo indispensable para conducir la acción eléctrica.

(3) *Oliver J. Lodge*, miembro de la Sociedad Real inglesa

exterior, provisto en sus extremos de dos pistones de cobre $E E'$, cuya posición se hace variar por medio de tornillos, con lo cual se comprime más ó menos la limadura para regular su conductibilidad.

La principal experiencia de *Branly*, que comprobó *Mr. Lodge*, se efectúa intercalando en

un circuito: una pila P ; el tubo limadura Br unido al circuito por sus dos electrodos $E E'$ y un galvanómetro G . En las circunstancias ordinarias, este instrumento marcará *cero*,

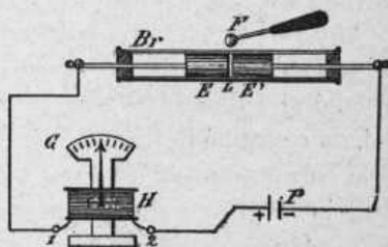


FIG. 25.—Experiencias de Branly

ó al menos, indicará una debílsima corriente de pocos mili-amperios de intensidad, por ser muy considerable la resistencia eléctrica de la columna de limaduras que hay dentro del tubo Br ; pero si se pone en actividad cerca de éste, un excitador de ondas eléctricas, se comprueba que la resistencia de las limaduras disminuye enseguida, y se reduce desde muchos *mega-ohmios* hasta unos cuantos *ohmios*. La corriente de la pila P recorrerá entonces el circuito, y el galvanómetro G acusará la persistencia de esta corriente durante largo tiempo, aun cuando cese la excitación del oscilador;

y profesor de física en el Instituto universitario de *Liverpool* de quien ya nos hemos ocupado (18); fué el primero en reconocer todo el partido que podía sacarse del tubo de *Branly* para revelar las ondas eléctricas.

pero se interrumpirá la corriente por una acción mecánica cualquiera (golpe ó trepidación) causada al tubo *Br*, cuya limadura recobrará su primitiva resistencia.

A fin de producir la acción mecánica, necesaria para que el tubo esté dispuesto á revelar la acción de ondas nuevas, puede golpearse á mano con el martillo *F*; pero *Mr. Lodge* recurrió á intercalar en el circuito un temblador, como el del martillo de un timbre, que golpea sobre el tubo en vez de hacerlo sobre la campana, ó ejecuta ambas cosas alternativamente (*fig. 26*). Así, la operación es automática y consecutiva al paso de la corriente producida por las ondas; y este pequeño artificio señaló un nuevo progreso en la marcha práctica de la telegrafía hertziana.

La intercalación del temblador del martillo en el circuito del tubo *Branly* exige, sin embargo, una pila de voltaje bastante alto, lo cual tiene el inconveniente de que la corriente puede fundir las limaduras y destruir el aparato; por esto, *Mr. Lodge* rebaja el voltaje por medio de resistencias intercaladas en el circuito y solo le deja el suficiente para accionar un *relais* telegráfico (1). Este *relais* cierra un circuito, independiente del primero, donde está intercalado el temblador, y donde la corriente de la pila, sin las resistencias del circuito anterior, puede ya producir la acción del martillo.

La disposición del *relais* y de los dos circuitos puede verse en la figura 26, y su funcionamiento se explicará más adelante.

34. Teorías de *Lodge* y de *Branly*. El funciona-

(1) Véase Apéndice I.

miento del tubo de *Branly* ha sido objeto de explicaciones teóricas que no dan cuenta del fenómeno con toda claridad, y menos al complicarse posteriormente los hechos. En efecto; sabido es actualmente que la variación en la resistencia eléctrica de los contactos imperfectos por la acción de las ondas eléctricas,—acción análoga á la de las ondas sonoras que sirve de fundamento al micrófono de *Hughes*—se verifica de muy diversos modos, según la clase de substancias conductoras empleadas y del dieléctrico interpuesto.

Existen, por ejemplo, cuerpos sólidos y compactos cuya resistencia eléctrica, lo mismo que la de las limaduras, obedece á la acción de las ondas hertzianas; también hay ciertas clases de limaduras ó granos de substancias conductoras, que recobran su resistencia primitiva, tan luego cesa la acción de las ondas, sin aguardar á la acción mecánica, y, por fin, en otras substancias, la acción de las ondas es inversa, esto es, que produce un aumento de resistencia, y que ésta disminuye luego, hasta volver á su antiguo estado.

El ponerse de acuerdo sobre todos estos hechos, tomando como fundamento un solo principio, es tarea difícil, no conseguida aún. Nosotros nos limitamos á exponer ligeramente lo que han dicho los dos sabios más caracterizados, *Mr. Lodge* y *Mr. Branly* sobre tan importante asunto teórico.

Según *Mr. Lodge*, la electricidad de alta tensión que desarrollan las ondas eléctricas, origina descargas, con pequeñísimas chispas invisibles entre los granos de la limadura, que perforan el dieléctrico interpuesto y forman una serie de puentes de comunicación directa de unos á otros granos. Se establece, pues, una

adherencia ó *cohesión* entre ellos, y se forma una masa conductora continua que deja paso fácil á la corriente eléctrica.

La acción mecánica produce la *descohesión*, es decir, la rotura de los puentes que comunican los granos entre sí, y al volver éstos á su antiguo estado, se restablece la resistencia primitiva en la masa de limaduras.

Por esta acción de *coherencia* que *Mr. Lodge* atribuye á las ondas hertzianas sobre el tubo de *Branly*, le ha dado el nombre de *cohesor*, con que sigue distinguiéndosele.

Mr. Branly rechaza la teoría de *Mr. Lodge*, y admite, por el contrario, que la acción de las ondas recae sobre el dieléctrico interpuesto entre los granos, al cual hace *temporalmente* conductor; ó bien, admite que, en general, el paso de una corriente eléctrica no requiere el íntimo contacto entre los granos, sino que la corriente franquea ó salva la distancia de unos granos á otros, dentro de cierto límite, y que el efecto de las ondas es precisamente aumentar la distancia que puede franquear la corriente.

Ninguna de las dos teorías satisface por completo, y el mismo *Mr. Branly* se ha contentado con dar á su aparato el nombre de *radio-conductor*, (1) que nada prejuzga sobre las causas de su funcionamiento, y solo recuerda el hecho observado de que el tubo se hace conductor bajo la influencia de las radiaciones eléctri-

(1) De aquí el nombre de *radio-telegrafía*, con el cual suele conocerse este método de comunicación telegráfica.

cas; mas como las cosas pasan, generalmente, como si en realidad ocurriera lo que *Mr. Lodge* afirma, ha seguido dándose al tubo el nombre de *cohesor*; y se llaman también á los tubos formados por substancias que recobran espontáneamente su resistencia, *auto-descohesores* ó de *descohesión espontánea*.

35. Avisador atmosférico de Popoff. Tanto en las experiencias de *Branly*, como en las de *Lodge* quedó probada la acción á distancia de una descarga oscilante sobre los tubos de limadura; pero en ambas experiencias la distancia no traspasó los límites del laboratorio.

Las primeras experiencias que sugirieron la idea de emplear las ondas hertzianas para transmitir señales telegráficas, se hicieron en Abril de 1895 por el profesor ruso *Popoff*, de la escuela de torpedos de *Kronstadt*. Estas experiencias tuvieron por objeto registrar las lejanas descargas atmosféricas, que *Mr. Lodge* y otros observadores consideraron siempre como oscilantes, y susceptibles, por tanto, de producir ondas eléctricas. Los resultados de estas experiencias los comunicó *Popoff* en Julio del mismo año á la Sociedad físico-química de *San Petersburgo*.

La figura 26 representa el esquema de la instalación: uno de los electrodos del cohesor *C* está ligado á la varilla *A* de un para-rayos, ó á un alambre cualquiera dirigido verticalmente á lo largo de un palo; el otro electrodo está ligado á tierra por el conductor *T*. Los dos electrodos están además ligados á un primer circuito *ERPFE*, que contiene una pila *P* y un relai *R*. Un segundo circuito *DBPGHD*, que nace de los mismos bornes de la pila *P* que el primero,

contiene un timbre *S* y el contacto del relai *D*; y por último, un tercer circuito *I M L*, derivado del segundo, contiene un registrador *Richard M* de las señales atmosféricas. Este registrador consiste en un cilindro giratorio alrededor de su eje por medio de un aparato

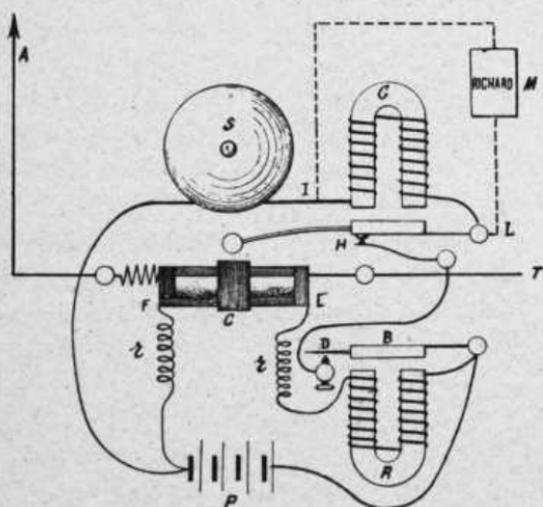


FIG. 26 -- Avisador atmosférico de *Popoff*

de relojería, y en una pluma ó lápiz que marca una línea recta sobre una banda de papel enrollada en el cilindro. Al paso de la corriente eléctrica por el electroimán del registrador, la pluma es atraída y marca un trazo, en cruz con la línea recta.

Como se vé, los circuitos están alimentados por una misma pila *P*; pero su fuerza electro-motriz se hace rebajar en el primero, por medio de las resis-

tencias intercaladas r, r . De este modo se evitan los desperfectos que pudiera causar la corriente sobre el relais R y el tubo de limaduras C , según se dijo en el párrafo 33.

El funcionamiento de este aparato es bien sencillo y comprensible con la figura á la vista.

La acción de las ondas eléctricas producidas por una descarga atmosférica, llega por el alambre A , pasa á tierra por el T , y hace conductor al cohesor C . Se cierra, pues el primer circuito $ERPF E$; el electroimán del relais R atrae á la paleta B ; se establece el contacto D ; se cierra el segundo circuito $DBPGHD$; pasa también la corriente por el tercer circuito derivado IML , y se marca la señal en el registrador M . Al mismo tiempo, el martillo del timbre, atraído por el electroimán G , dá un golpe sobre la campana S ; se interrumpe la corriente del segundo circuito en H ; cesa la imantación de G ; el martillo cae y golpea sobre el cohesor C , que cesa también de ser conductor. Entonces la corriente del primer circuito se interrumpe; la paleta B recobra su posición normal, y todos los órganos del aparato vuelven á su estado primitivo, dispuestos á recibir la acción de nuevas ondas eléctricas para registrarlas.

El aparato de *Popoff* se instaló en el observatorio meteorológico de *San Petersburgo*, en Julio de 1895, y se empleó únicamente como avisador atmosférico. Más tarde, en Diciembre del mismo año, una nueva comunicación dirigida por *Popoff* á la citada Sociedad físico-química de *San Petersburgo*, indicaba la esperanza de poder transmitir señales telegráficas; pero no aparece claro que lo llegara á conseguir, é indudablemente, en

el hecho práctico de telegrafiar á distancia ya algo importante, se le adelantó *Marconi*, como tendremos ocasión de ver en el capítulo siguiente.

36. Transparencia y opacidad eléctricas. Una propiedad interesante de las ondas hertzianas, de la que es oportuno ocuparnos antes de terminar este capítulo, es su propagación á través de ciertas sustancias que no son transparentes á las ondas luminosas.

En su virtud, un cuerpo *no conductor* de la electricidad colocado á modo de pantalla entre el excitador y el resonador, no impide llegar á éste las ondas generadas por aquél, y el fenómeno de las chispas se verifica como si no hubiese entre ambos aparatos substancia alguna interpuesta. Así, vemos que provocando la descarga del oscilador en una habitación, surgen las chispas en el resonador situado en piso diferente del mismo edificio, ó en otra habitación separada de la anterior por muros y puertas cerradas.

Por el contrario, si la pantalla interpuesta es metálica, las chispas cesan en el resonador, demostrándose que las ondas se propagan en línea recta, y que el cuerpo *conductor* impide el paso á las ondas que el excitador genera.

Se vé, pues, que, en general, los cuerpos *no conductores* son *transparentes* y los *conductores* son *opacos* á la radiación hertziana.

Esta transparencia eléctrica de los cuerpos no conductores no es, sin embargo, absoluta. Ocurre con ella lo que con la transparencia luminosa: que hay absorción de rayos, y que un cuerpo transparente puede llegar á ser opaco, si su espesor es grande, ó si la energía de las ondas eléctricas no es suficiente para atravesarlo.

Depende también la transparencia de la naturaleza del cuerpo, y de la longitud de onda; así, sucede que ciertos cuerpos pueden ser opacos á unas ondas, y, total ó parcialmente, transparentes á otras.

De cualquier modo, el hecho es que las masas interpuestas entre excitador y resonador, aunque aquéllas sean transparentes á las ondas hertzianas, rebajan su energía y debilitan su propagación, siendo esto un obstáculo para la aplicación del fenómeno de las ondas á la telegrafía práctica, y explica también porqué la comunicación telegráfica es siempre más fácil y más regular cuando el espacio intermedio es libre, ó solo hay un brazo de mar interpuesto entre las dos estaciones.

Siguiendo también la semejanza con las radiaciones luminosas, á pesar de la propagación rectilínea de las ondas hertzianas, un fenómeno análogo al de la *difracción* permite á los rayos eléctricos contornear los cuerpos opacos (conductores) y llegar al resonador situado detrás de ellos. Esta propiedad que para los rayos luminosos solo se verifica en los contornos de cuerpos muy pequeños, debido á la ínfima longitud de las ondas, tiene lugar para la radiación eléctrica ante obstáculos considerables.

Por esta razón, para hacer la experiencia de la opacidad de los metales, es indispensable, á veces, encerrar el resonador ó receptor de las ondas dentro de una caja metálica, cuyas juntas, así como los orificios que dán paso á los electrodos, deben hallarse perfectamente soldadas, pues la menor discontinuidad en el metal, permite el paso á las radiaciones eléctricas.

Y tanto más se acentúa la difracción, cuanto mayor

es la longitud de la onda; así, pues, no debe sorprender el hecho de que las elevaciones del terreno, y aun la misma convexidad de la superficie terrestre á largas distancias, sea contorneada por los rayos formados de ondas que alcanzan muchos kilometros de longitud.

La figura 27 indica, según *Mr. Preece*, cómo se

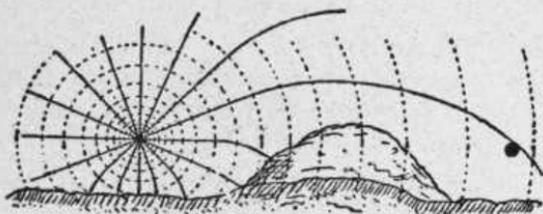


FIG. 27. —Descripción de las ondas eléctricas

propagan las ondas eléctricas salvando las cumbres de las montañas. Este sabio electricista opina que «al hallarse el éter entre substancias de distintos grados de inductibilidad, las líneas de fuerza eléctrica se encurvan, como ocurre en casos análogos con las de la luz.»
