

HISTORIA

LA DETECCIÓN TEMPRANA DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.

PEDRO W. LAMBERTI

Facultad de Matemática, Astronomía y Física. Universidad Nacional de Córdoba.
Ciudad Universitaria. 5000. Córdoba, Argentina. Correo Electrónico: lamberti@fis.uncor.edu

RESUMEN

Revisamos los primeros detectores de ondas electromagnéticas, con énfasis en el cohesor de Branly. Describimos también la construcción de una réplica del cohesor de Branly y sugerimos la realización de algunos experimentos simples con dicha réplica.

ABSTRACT

We review the early electromagnetic wave detectors with particular emphasis in Branly's coherer. Upon the description of the construction of a replica we suggest some basic experiments to do.

INTRODUCCIÓN.

Albert Einstein hizo el siguiente comentario sobre la, por entonces, novedosa telegrafía sin hilos: *"El telégrafo sin hilos no es difícil de entender. El telégrafo ordinario es como un gato muy largo. Usted le tira la cola en New York, y maúlla en Los Ángeles. El telégrafo sin hilos es lo mismo, sólo que sin el gato"*. En este sentido el presente trabajo tiene que ver con cómo el gato - que no está - se da cuenta de que tiene que maullar.

Poco después del descubrimiento de las ondas electromagnéticas (OEM) por parte de H. Hertz, en el año 1887, surgió el problema de su detección de una manera práctica. Recordemos que Hertz utilizó un "chispero" para producir OEM y las detectó por medio de un lazo conductor abierto con una pequeña separación

entre sus extremos. Al saltar las chispas en el emisor, observaba que saltaban chispas entre los extremos del receptor. A pesar de lo primitivo de este sistema, Hertz pudo realizar con él diversas experiencias que le permitieron verificar de manera contundente las principales propiedades de las OEM [1] predichas por la teoría de Maxwell. En el presente artículo describimos uno de los primeros dispositivos, que de forma práctica, permitió la detección de las OEM: *el cohesor*.

El principio de funcionamiento del cohesor es la marcada caída de la resistencia eléctrica que ocurre en un polvo metálico o limaduras metálicas, tras la incidencia de un pulso electromagnético. El antecedente más inmediato del cohesor es un antiguo protector de los sistemas

telegráficos convencionales contra las descargas eléctricas de origen atmosférico: el protector de Varley (en referencia a Cromwell Varley, físico inglés). Este protector consiste de un tubo de vidrio lleno de limaduras de cobre, no muy compactadas, conectado entre la tierra y el cable aéreo del sistema de comunicaciones. En el estado normal su resistencia eléctrica es muy alta, no interfiriendo por lo tanto con los instrumentos del telégrafo. Cuando ocurre una descarga atmosférica, el protector disminuye abruptamente su resistencia, de modo que el pulso eléctrico inducido en la línea es derivado a tierra evitándose así que dañe el sistema telegráfico. Si el rayo no ha caído directamente sobre las instalaciones, con un pequeño golpe sobre el dispositivo protector se lo regresa a su estado de alta resistencia eléctrica.

Desde el punto de vista físico, los fenómenos relacionados con el funcionamiento del cohesor son muy complejos y en cierto sentido, hasta el presente, no comprendidos plenamente. Involucran la ruptura de delgadas capas de óxido sobre la superficie del metal, formándose de esa manera buenos contactos metal-metal (cohesión). En algunos casos se han observado pequeñas soldaduras entre las limaduras metálicas. Un hecho destacable es que el cohesor funciona, bajo ciertas condiciones, aún cuando, con una energía de excitación muy pequeña, ninguna "cohesión" entre las limaduras o partículas metálicas ocurre [2].

El cohesor fue usado en los primeras etapas de la telegrafía sin hilos. El cambio abrupto en su conductividad, permitía activar un pequeño electroimán, el cual, por medio de algún dispositivo adecuado, producía un sonido audible o dejaba un registro en una cinta de papel. El cohesor se regresaba a su estado no cohesionado por medio de un martillo electromagnético que lo golpeaba suavemente. La necesidad de retorno al estado "no cohesionado", limitó las primeras comunicaciones telegráficas a velocidades no mayores a 20 palabras por minuto, lo cual no significaba una gran ventaja respecto a los medios telegráficos convencionales.

Además de su aplicación práctica, el cohesor fue prontamente utilizado como un instrumento para la investigación científica. En el año 1894 Oliver Lodge comunicaba a la Royal Institution que "intentaría encontrar la radiación de onda larga proveniente del Sol". Para ello utilizó un cohesor conectado en serie a una batería y a un galvanómetro (ver figura 1). Por la descripción que Lodge hizo de sus experiencias se puede

concluir que la radiación de onda larga que estaba buscando se ubicaba en la región centimétrica del espectro electromagnético [3]. No fue Lodge el único que utilizó el cohesor en lo que podríamos denominar los primeros intentos de radio exploración del sistema solar. En septiembre de 1900, un estudiante francés, Charles Nordmann, realizó experimentos similares a los de Lodge. En ellos utilizó dos cohesores y una antena de 175 metros de longitud, colocando el aparato a 3100 m de altitud "para eliminar, tanto como fuera posible, la acción absorbente de la atmósfera" [4].

En las próximas secciones revisaremos los trabajos que Edouard Branly (1844-1940) y Oliver Lodge (1851-1940) realizaron relacionados con el cohesor. Veremos también algunos desarrollos posteriores de este dispositivo y describiremos la construcción de una réplica del cohesor de Branly. Finalmente sugerimos la realización de experimentos con la réplica construída.

E. BRANLY, O. LODGE Y EL COHESOR.

En el año 1890, el científico francés E. Branly notó que el polvo metálico y las limaduras metálicas, exhibían la propiedad de una reducción notable de su resistencia eléctrica cuando se lo exponía a una chispa eléctrica (efecto Branly). A lo largo de sus experiencias utilizó diversos tipos de polvo y limaduras, en cuanto a su composición como al tamaño de grano del polvo y al tamaño de las limaduras. También experimentó con mezclas de polvos de materiales conductores y aisladores. En sus investigaciones utilizó un montaje experimental muy simple, como el mostrado en la figura 1. El cohesor era conectado en serie con una batería (B) y un galvanómetro (G). En su trabajo más citado, publicado el 24 de noviembre de 1890, el propio Branly lo explica del siguiente modo: "Si uno arma un circuito compuesto de un elemento de Daniell (batería), un galvanómetro y un conductor metálico (placa de ebonita cobreada o tubo con limaduras) se observa sólo una corriente insignificante; pero ocurre una disminución brusca de la resistencia eléctrica, indicada por una fuerte desviación (de la aguja del galvanómetro), cuando se produce en la vecindad del circuito una o más descargas eléctricas. [...] He podido constatar una acción a más de 20 m ... una distancia tan grande que el sonido de las chispas no podían escucharse..." [5]. En la etapa temprana de sus investigaciones con el cohesor, Branly no asoció el fenómeno de

cohesión con la radiación electromagnética. Eso se puede concluir a partir del anteriormente citado trabajo pues allí no usa las palabras "ondas electromagnéticas", ni menciona a Maxwell ni a Hertz.

Branly propone algunas explicaciones del fenómeno de cohesión. Concluye su trabajo "*Sur la conductibilité des substances conductrices discontinues*", del año 1894, diciendo: "... dos hipótesis me parecen susceptibles de explicar estos fenómenos: O bien el aislante interpuesto entre las partículas conductoras deviene en conductor por el paso de una corriente de alto potencial y los fenómenos observados caracterizan la conductividad del aislador; o bien se puede considerar demostrado que no es necesario que las partículas de un conductor estén en contacto para permitir el paso de una corriente débil ... la distancia para que la conductibilidad eléctrica persista depende de la energía de los efectos eléctricos. En ese caso el aislante sirve principalmente para mantener una cierta separación entre las partículas" [6]. Es decir, o bien el dieléctrico es el que cambia, o las partículas (polvo o limaduras) tienen asociadas una "atmósfera" de conducción. Por entonces, estas explicaciones no resultaban totalmente convincentes y durante los años en los que el efecto Branly fue investigado, hubo una gran carencia de ideas teóricas que permitieran dar una explicación del fenómeno¹. Como se mencionó en la introducción, y a modo de ser justos con los investigadores de finales del siglo XIX, el fenómeno de cohesión carece hasta el presente de una explicación satisfactoria [7].

¹ Es importante indicar, desde el punto de vista histórico, que en 1890 no había modelos teóricos para la conductividad eléctrica en metales en condiciones normales; en particular ni siquiera se había descubierto al electrón.

Con el paso del tiempo, y fundamentalmente basado en los resultados obtenidos por O. Lodge, Branly termina aceptando que el fenómeno de cohesión está vinculado con la incidencia de pulsos electromagnéticos. Reconoce además, las limitaciones que este dispositivo tiene para el estudio de las propiedades de las OEM. En un reportaje dado a la revista "*La Gazette Médicale*" de París, en diciembre de 1903 expresa: "... el tubo con limaduras es muy incómodo para estudiar las interferencias eléctricas de Hertz..." [8].

Branly fue propuesto para el premio Nobel de física del año 1909 (el mismo año en que fue otorgado a G. Marconi y F. Braun), y el hecho que no se le otorgara generó una fuerte reacción chauvinista en Francia. No obstante y quizá más importante aún que haber recibido el premio Nóbel, Branly fue mundialmente reconocido como uno de los pilares en el desarrollo de la telegrafía sin hilos. Varios años después de la muerte de su padre, el hijo de F. Braun envía a Branly una carta en la que le dice: "...Mi padre jamás habló de la telegrafía sin hilos sin, en primer lugar, mencionar vuestro nombre y eso ha sido algo que me marcó a lo largo de toda mi vida..."

Independientemente de Branly, el investigador inglés O. Lodge, trabajando en la protección de los instrumentos telegráficos de las descargas eléctricas atmosféricas, observó, en el año 1889, que dos láminas metálicas separadas por una pequeña capa de aire, frecuentemente resultaban adheridas cuando una descarga eléctrica ocurría en sus cercanías. Recién en 1893 fue informado de los trabajos de E. Branly. A partir de entonces comenzó a utilizar el cohesor de Branly en sus experiencias, abandonando el uso de complicados sistemas de resortes y láminas que había empleado hasta entonces.

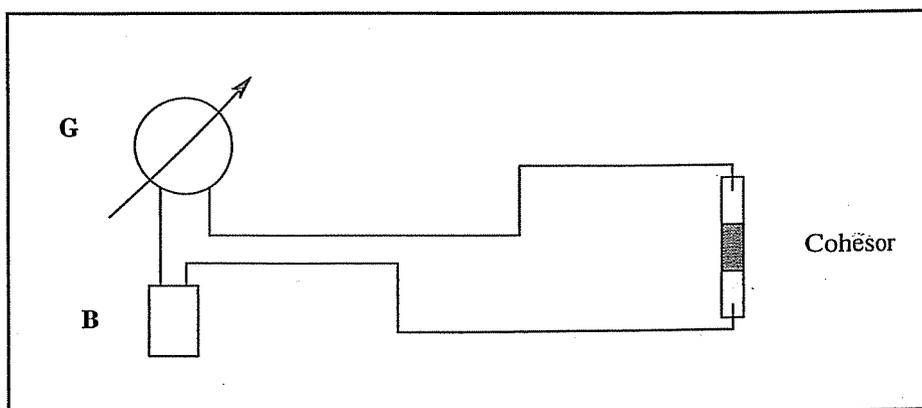


Fig. 1: Esquema del dispositivo experimental empleado por Branly.

Pocos meses después de la muerte de Hertz, Lodge fue invitado por la Royal Institution a que diera una conferencia sobre los trabajos de aquel. Comienza esa conferencia describiendo un dispositivo "... el cual llamo el cohesor y que es el más sorprendente detector de ondas Hertzianas..." [9]. Los resultados expuestos en esa ocasión por Lodge tuvieron una gran influencia en el desarrollo posterior de la telegrafía sin hilos. A instancias del Dr. Alexander Muirhead, un experto en telegrafía, Lodge fue avanzando en la idea de utilización del sistema constituido por un emisor de Hertz y un cohesor, como un sistema inalámbrico de comunicación a distancia. En sus primeros experimentos logra una detección a unas ...16 yardas... (unos 90 metros). Con todos estos antecedentes es sorprendente que Lodge no haya planificado una explotación comercial del sistema. Varios años después de estas experiencias y cuando el sistema de la telegrafía sin hilos ya había sido plenamente desarrollado, Lodge escribió: "...mientras nosotros estábamos satisfechos con el 'podía hacerse', Marconi continuó con suficiente entusiasmo hasta lograr un éxito práctico..."

Queda claro por lo dicho anteriormente que Branly y Lodge se nutrieron mutuamente desde el punto de vista científico. Lodge era un profundo conocedor de la teoría electromagnética de Maxwell y de los trabajos de Hertz. No era ese el caso de Branly y quizás sea ese el motivo por el que demoró en relacionar el efecto de cohesión con las ondas electromagnéticas. Además, Lodge siempre asignó a Hertz el descubrimiento de las OEM, mientras que Branly lo relativiza. En la misma entrevista a "La Gazette Médicale" mencionada más arriba, Branly dice: "Sin desear disminuir la gloria de Hertz, es conveniente remarcar que él no descubrió las oscilaciones eléctricas, [...] ellas han sido conocidas por Feddersen, Thomson, y Helmholtz y él las verificó. El verdadero descubrimiento de Hertz, es la resonancia eléctrica que ha conducido a la idea de sintonización (es decir un acuerdo entre el emisor y el receptor)..."

Con el paso del tiempo el cohesor de Branly fue modificado y finalmente abandonado como detector de OEM. Quizá, quien hizo aportes más significativos en esos desarrollos fue Marconi. En las primeras experiencias relacionadas con el desarrollo de la telegrafía sin hilos, él utilizó un oscilador de Hertz y un cohesor de Branly. Rápidamente encontró a este cohesor "demasiado errático y poco confiable" [10]. Esto lo llevó a modificar el diseño original y construyó uno en

el que usaba limaduras de níquel y plata colocadas en un pequeño espacio entre dos barras de plata en forma de cuña, ver figura 2. Con esta disposición, logró mucha mayor sensibilidad y confiabilidad. Su próximo paso fue incluir este cohesor en un circuito en sintonía con el emisor, logrando una detección de la señal hasta una milla de distancia,

En un trabajo publicado en 1902, Marconi introduce otro tipo de detector de OEM. El mismo está basado en el decrecimiento de la histéresis magnética en un trozo de hierro, cuando es expuesto a los efectos de ondas hertzianas de alta frecuencia [11]. Tanto los cohesores como los detectores magnéticos fueron ampliamente usados para la transmisión de señales telegráficas (código Morse), pero resultaron inadecuados para la detección de onda continua. En ese punto comenzó otro capítulo en la historia de la detección de las OEM, el cual será desarrollado en otro trabajo.

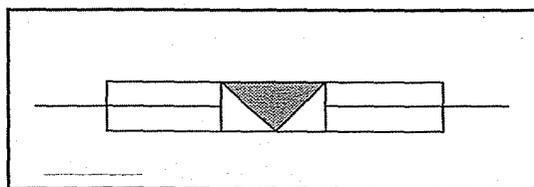


Fig.2: Cohesor de Marconi.

CONSTRUCCIÓN DE UN COHESOR DE BRANLY.

Nuestro modelo consiste de un tubo de acrílico de 12mm de diámetro exterior, de 10 mm de diámetro interior, y de 90 mm de largo. Dos barras cilíndricas de bronce que entran ajustadamente en el tubo de acrílico permiten mantener las limaduras, ubicadas en el centro del tubo entre las dos barras, de manera más o menos compacta. Estas barras deben poderse extraer del tubo fácilmente, de modo que sea sencillo remplazar las limaduras por otras de distinto material y/o tamaño. Para ello se adhieron dos capuchones de aluminio en los extremos del tubo acrílico, de modo que las barras de bronce puedan ser sujetadas a los capuchones por medio de dos tornillos prisioneros. Finalmente dos tornillos moleteados enroscados a las barras de bronce, permiten una sujeción rápida de los conectores. El espacio que ocupan las limaduras es aproximadamente de 12 mm de largo. La figura 3 muestra una foto del modelo ya terminado. Las limaduras usadas son de hierro. En el estado no cohesionado, la resistencia medida es de, aproximadamente, 280 kΩ. Este valor cambia sensiblemente si se presiona más o

menos a las limaduras. Se debe tener siempre el cuidado de golpear, suavemente al cohesor, de forma que estemos seguros de que está en el estado de alta resistencia. Como emisor de OEM utilizamos el chispero descrito en la referencia [1]. De hecho, cualquier otro generador de chispas resulta igualmente adecuado. Al hacer saltar las chispas a una distancia de 20 cm del cohesor, la resistencia cae a valores cercanos a 1 k Ω . Cuando el cohesor se ubica a una distancia de 1 m, y se hace funcionar el chispero, su resistencia cae a unos 50 k Ω .

Diversos experimentos se pueden realizar con el cohesor construido. Sugerimos algunos, pero seguramente el lector agregará otros a nuestro listado. Se puede hacer un estudio de la sensibilidad del cohesor al usar distintos tipos

de limaduras. Es interesante probar con las que se obtienen al limar una barra de cobre o una moneda de 25 centavos. Otros experimentos sencillos de realizar y que están íntimamente vinculados con los primeros años de la telegrafía sin hilos, son los que permiten estudiar el alcance de la detección del cohesor. Por ejemplo interponiendo el cohesor entre uno de los extremos de un hilo conductor (de 10 m de longitud) que juega el rol de antena y una (buena) conexión a tierra, hemos logrado detectar un pulso electromagnético generado con el chispero a unos 100 m de distancia. Es posible también estudiar la sensibilidad del cohesor en función de su posición relativa al emisor. En todos los casos, el montaje experimental del cohesor es el mostrado en la figura 1.

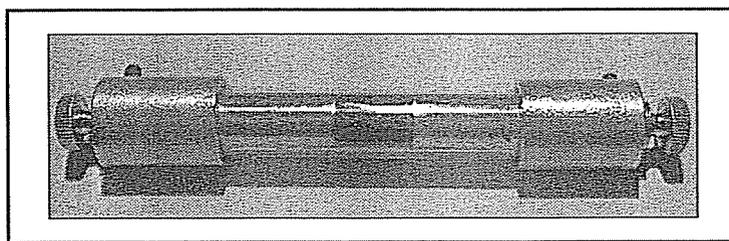


Fig.3: Fotografía del modelo construido por el autor.

Agradecimientos: El autor desea agradecer al Centro de Estudios en Historia de la Ciencia de la Universidad Autónoma de Barcelona, en donde parte del material bibliográfico utilizado en este trabajo, fue consultado. Se reconoce el apoyo financiero de SECYT-UNC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Lamberti, P.W., *Revista de Enseñanza de la Física*, **10**, N° 2, pag.37-47, 1997.
- Phillips, V. J., "Some filings-coherer measurements", en *Proc. 3rd IEE Weekend Meeting on History of Electrical Engineering*, Manchester, 1975.
- Lodge, O., *Signaling Through Space Without Wires*, 4ta edición, D. Van Nostrand Company, Inc., New York, 1960.
- Nordmann, C., *Essai Sur le Rol des Ondes Hertiennes en Astronomie Physique*, Gauthier-Villars, Paris, 1903.
- Branly, E., *C.R. Ac. Des Sc.*, t CXI, 1890, pag.90.
- Branly, E., *C.R. Ac. Des Sc.*, t CXVIII, 1894, pag. 348.
- Lee, T.H., *A Nonlinear History of Radio, en The Design of CMOS Radio -Frequency Integrated Circuits*, Cambridge University Press, 1998.
- Monod-Broca, P., *Branly – Au Temps des Ondes et des Limailles*, Belin, Paris.
- Lodge, O.J., *The Electrician*, **40**, 1897-98, Pag. 87.
- Marconi, G., Nobel Lecture, 1909.
- Marconi, G., *Proc. Roy. Soc. (London)*, **70**, pag 341, 1902.

