

# **RECREACIÓN DE LOS EXPERIMENTOS DE HERTZ EN EL LABORATORIO DE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA**

**Mariano A. Nicotra<sup>1</sup>, Javier Martín<sup>1</sup>, Carlos Leguizamón<sup>1</sup> y Ángel Galeasso<sup>1</sup>**

1. Departamento de Física – FCEFYN – UNC

jmartin.cba@gmail.com, cleguizamon@fibertel.com.ar, angelandres65@yahoo.com.ar

## **1. RESUMEN**

**En este trabajo se plantea la reproducción práctica en el Laboratorio de Enseñanza de la Física (LEF) de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEFYN) de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC) de los experimentos sobre electromagnetismo llevado a cabo por Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894) alrededor de 1881.**

## **2. OBJETIVO**

Recrear un experimento histórico como fuente de motivación de docentes y alumnos para la enseñanza-aprendizaje de la Física.

## **3. INTRODUCCIÓN**

Los experimentos históricos constituyen una interesante herramienta que se puede utilizar para la Enseñanza de la Física a fin de permitir un contacto directo entre alumno y la realidad que la Física pretende desentrañar y aprovechar en beneficio del hombre [1]. En este caso particular se eligió el Experimento de Hertz por su sencillez conceptual de los dispositivos experimentales involucrados y la intuitiva interpretación de los resultados que se pueden obtener. El laboratorio de Enseñanza de Física (LEF) cuenta con algunos equipos similares a los utilizados en tales experimentos pioneros y aquéllos que faltan se pueden construir con los moderados recursos al alcance del LEF. Se entiende que el estudiante de Física para Ingeniería habrá de enriquecerse especialmente si a los contenidos y ejercicios de cálculo que se abordan en clases teórico-prácticas se suma el simple contacto con la realidad del electromagnetismo que los experimentos de Hertz facilitan.

## **4. RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA. RESÚMEN HISTÓRICO**

Las ondas electromagnéticas constituyen uno de los raros casos de la Física que antecedió al siglo XX que se descubrieron como consecuencia de estudios teóricos. Podría decirse que entra en esa categoría especial de descubrimientos que, como en el caso del planeta Neptuno, han sido producidos "en la punta de la pluma" [2]. Hechos éstos que pusieron de relieve la enorme capacidad de la mente humana que había transformado a las ciencias de la naturaleza en certeras herramientas de pronósticos, cuestión novedosa para ciencias de esos siglos.

Es público y notorio que las ondas electromagnéticas fueron el fruto de uno de los trabajos teóricos más brillantes de la historia de las ciencias, acometido a mediados del siglo XIX por el escocés Sir James Clerck Maxwell (Maxwell, para la posteridad). Matemático de talla mayor, Maxwell sintetizó en 20 ecuaciones diferenciales a las leyes fundamentales del electromagnetismo, que en su origen se presentaban como ecuaciones integrales. Otro británico, Sir Oliver Heaviside las sintetizó en cuatro ecuaciones diferenciales apelando al nuevo formato que brindaba el novedoso Análisis Vectorial. Hoy se las conoce como *las cuatro ecuaciones de Maxwell*, aunque en ciertas ocasiones se las ha denominado *las cuatro ecuaciones de Maxwell-Heaviside*. [3][4]

Aunque son ampliamente conocidas por la comunidad de la Ingeniería, se repasan aquí brevemente. Las cuatro ecuaciones parten de las integrales, a lo largo de dominios cerrados, del flujo y de la circulación de los campos eléctricos y magnéticos. En varias ramas de la Física, estas integrales definen en cierta manera la

“personalidad” de los campos vectoriales bajo análisis [5]. Las herramientas propias del Análisis Vectorial permiten convertir las ecuaciones integrales de flujo a través de superficies cerradas en ecuaciones diferenciales que determinan la divergencia de los campos involucrados. Para una región del espacio físico vacío de materia pero que incluya campos eléctricos y magnéticos, se tiene:

$$\nabla \cdot E = 0 \quad ; \quad \nabla \cdot B = 0$$

De manera análoga, la circulación de los campos vectoriales se relaciona con el rotor de dichos campos:

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad ; \quad \nabla \times B = +\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$$

Recordar que tanto la divergencia como el rotor no son otra cosa que operadores diferenciales que asocian de una manera ordenada las derivadas parciales primeras de las componentes de los campos con respecto a las coordenadas espaciales (por ejemplo, las coordenadas cartesianas  $x, y, z$ ).

El trabajo de Maxwell no hubiese sido nada más que una singular y bella forma de presentar un compacto de las leyes conocidas del electromagnetismo de no ser por una innovación y un hallazgo.

El segundo miembro de la última ecuación, que de acuerdo a los predecesores de Maxwell (principalmente Ampere) debía ser nulo en el vacío, fue modificado por Maxwell por una cuestión de “simetría” para que las ecuaciones de rotores quedasen similares. La falta de “simetría” que inicialmente había entre los rotores hizo que Maxwell sospechase que la ecuación original del rotor de B estuviese incompleta.

El enorme impacto de la audacia de Maxwell de simetrizar las ecuaciones de rotores estaba todavía por verse. En efecto, el segundo miembro de la cuarta ecuación tiene que ver con las llamadas *corrientes de desplazamiento*, que juegan un rol protagónico central en las telecomunicaciones ya que son las fuentes principales de señales viajeras. Con esta propuesta se ponía de manifiesto una nueva fuente de magnetismo que se sumaba a las ya conocidas.

Por otra parte, la solución encontrada por Maxwell para sus ecuaciones aplicables al vacío fue el verdadero hallazgo de la brillante pluma de Maxwell: compatible con las leyes de conocidas del electromagnetismo, aceptando la simetrización de ambos rotores, concluye que pueden existir campos eléctricos y magnéticos en el vacío más absoluto. Y estos campos son campos viajeros a la manera de ondas que, para colmar aún más la medida, se moverían a la velocidad de la luz.

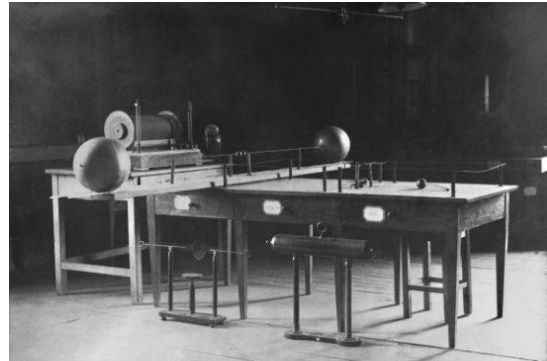
Claro que todo ésto era -por entonces- pura elucubración teórica que hubiera causado delicias en la mente de los antiguos pensadores griegos que confiaban al extremo en la fortaleza del pensamiento humano a la hora de desentrañar los misterios de la naturaleza. No obstante, la Física decimonónica era radicalmente diferente y sumamente reacia al pensamiento griego. Desde la revolución galileana alrededor de 1630, la naturaleza sólo podía conocerse experimentando, “*provando e riprovando*” [6]. Para que las ondas del Sr. Maxwell tuvieran carta de ciudadanía en la Física, era imprescindible la prueba final de producirlas y detectarlas en el laboratorio. Precisamente de eso se iba a ocupar Heinrich Hertz y lo iba a hacer con la sencillez y contundencia típica de los profesores universitarios alemanes de la segunda mitad del siglo XIX, aquéllos que durante casi un siglo impondrán a las ciencias en general la agudeza y solidez de sus propuestas.

## 5. MONTAJE DEL DISPOSITIVO EXPERIMENTAL Y RESULTAODS

Basado en fotografías de la época en que se realizó el experimento original de Hertz, figura 1, se montó un primer dispositivo experimental compuesto por un generador de ondas electromagnéticas construido con un carrete de Ruhmkorff que tiene una doble función, por un lado eleva la diferencia de potencial eléctrico del primario y por otro lado aporta la impedancia inductiva del circuito oscilador y por dos

esferas metálicas de 5 cm de diámetro, unidas por dos cables de un metro de longitud a los explosores del carrete de Ruhmkorff, que proporcionan la capacidad del circuito oscilante. Como detector se utilizó una bobina plana de 25 cm de diámetro con 100 espiras de alambre de cobre y derivaciones cada 10 espiras conectadas a un osciloscopio.

Hasta aquí, la disposición de elementos y equipos respeta razonablemente el diseño original de Hertz. Como es conocido, las principales dificultades de ese primer diseño estuvieron relacionadas con las dificultades propias de la detección de señales muy débiles. Por esa razón, en nuestro primer dispositivo experimental se apeló a lograr la visualización en la pantalla de un osciloscopio, equipo que no existía en los años de Hertz. Con estos recursos se pudo detectar una pequeña señal atribuible al funcionamiento de nuestro equipo experimental. Se pudo constatar que la señal detectada aparecía cuando el equipo transmisor estaba encendido y desaparecía cuando se lo apagaba y, si bien esta señal se destacaba sobre el ruido de fondo, no era posible fijarla en la pantalla del osciloscopio dado su carácter aperiódico.



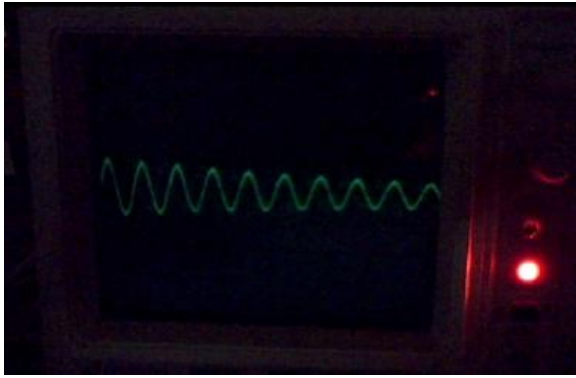
**Figura 1:** dispositivo experimental de Hertz



**Figura 2:** dispositivo experimental montado en el LEF

A la luz de estos primeros resultados positivos se decidió construir dos esferas de chapa de aluminio de 30 cm de diámetro las que se conectaron al carrete de Ruhmkorff mediante dos alambres de de hierro de 1mm de diámetro y 1,5m de longitud, detalles que forma parte del transmisor original de Hertz. También se cambió la configuración del regulador mecánico de la bobina de Ruhmkorff y reemplazaron los extremos del explosor terminados en puntas por elementos esféricos con la intención de lograr una descarga más regular entre ellos. Con esta nueva configuración se logró mejorar sensiblemente la intensidad y la periodicidad de la señal que se podía observar en el osciloscopio.

Finalmente, después de varios ensayos, probando con distintas configuraciones de los elementos que componen el sistema se estableció el dispositivo experimental que se muestra en la figura 2, con el cual se logró mejorar notoriamente la periodicidad de la descarga de las chispas en el explosor lo que dio como resultado una imagen nítida y bien enganchada en la pantalla del osciloscopio de una señal de



**Figura 3:** pantalla del osciloscopio

forma senoidal con una periodicidad de alrededor de  $7,5 \mu\text{s}$  ( $f=133 \text{ kHz}$ ) que, como se ve en la figura 3, se destaca de forma notable sobre el ruido de fondo.

## 6. CONCLUSIÓN:

Tal vez el lector piense que los autores de este trabajo no descubrieron nada nuevo al realizar esta experiencia, y seguramente tiene razón. Sin embargo el hecho de repetir un experimento histórico de la física respetando los materiales,

equipos y la tecnología de la época en que se realizó por primera vez, nos permitieron darnos cuenta de las enormes dificultades técnicas y tecnológicas que tuvo que atravesar Heinrich Rudolf Hertz para concluir exitosamente sus experimentos.

Poner a punto este equipo nos resultó una tarea más compleja de lo que en un principio suponíamos. Nos obligó no solo a revisar y discutir los principios teóricos que sustentan al experimento, sino que tuvimos que agudizar nuestras habilidades prácticas y dejarnos guiar por la intuición para, luego de varios fracasos, ver con emoción, aparecer las pequeñas ondas verdes en la pantalla del oscilador.

Estamos convencidos que abordar estos pequeños desafíos vinculados con la historia de la ciencia y la tecnología nos permite conocer de una forma diferente, más completa y significativa, todo aquello que como docentes tantas veces enseñamos a nuestros alumnos. Nos da la posibilidad de recrear, en el aula, en el laboratorio o en espacios Ad Doc, estos importantes experimentos que se han constituido en hitos en la historia de la Física y facilitar que el alumno -que debe ser siempre la razón de ser de los esfuerzos docentes- conozca por sí mismo estas cuestiones experimentales.

Para etapas posteriores se proyecta trabajar con otros dispositivos detectores que se utilizaron en el desarrollo histórico de estas tecnologías, como aquellos basados en el cohesor de Branly que utilizaron Poppoff (detector de tormentas) o Tesla, Marconi y Ricaldoni (independientemente, en las pioneras transmisiones de radiotelegrafía). Se buscará complementar dichos detectores, asimismo, con sencillos dispositivos que proveen las tecnologías actuales. Se intentará asimismo reiterar el hallazgo de Hertz sobre las facilidades brindadas por la luz ultravioleta como auxiliar en los primitivos detectores, primera huella histórica del efecto fotoeléctrico.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Hurtado de Mendoza, D, Drewes, A. (2004). Tradiciones y rupturas. La historia de la ciencia en la enseñanza. Buenos Aires: Jorge Baudino ediciones y UNSAM, escuela de humanidades. Colección cuadernos de cátedra.
- [2] Frase atribuida a Arago, mencionada por Papp, D. en Historia de las Ciencias, Editorial Andrés Bello, 1996. Algunos textos de Física de origen ruso se la atribuyen a Lenin en alguna de sus obras filosóficas.
- [3] Sengupta, D.L. & Sarkar, T. Cap. 5 en History of Wireless, Wiley, 2006.
- [4] Hunt, B.J., The Maxwellians, Cornell University Press, 1991.
- [5] Morelli, G.V. , terminología con fines didácticos aplicada en sus clases teóricas de Física II para Ingeniería, FCFN, UNC, 2012.
- [6] "Provando e riprovando". Por ejemplo, Millefiorini, P. (Provando e riprovando: impegno, politica ed etica nella grande letteratura) aclara que se trata una frase de Paraiso 3, 3 de la Divina Comedia del Dante, que adoptada más tarde con un sentido ligeramente cambiado por la *Accademia del Cimento de Firenze* como expresión emblemática del método experimental galileano.