



# FOC-ELEN20



Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació

Conceptos Básicos

## DESCUBRIMIENTO DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.

### Lenz, Heinrich Friedrich Emil (1804 - 1865).

Físico ruso. Investigó los efectos de la inducción eléctrica y de la dependencia de la resistencia al paso de la corriente eléctrica con la temperatura.

Se le debe la formulación de la ley de Lenz que permite una descripción general de los fenómenos de autoinducción: el campo creado por la fuerza electromotriz derivada de un circuito es tal que tiende a oponerse a la causa que lo produce.

En 1833 publica los resultados de sus investigaciones acerca de la dependencia de la resistencia eléctrica con la temperatura: la resistencia de un conductor aumenta al aumentar la temperatura.

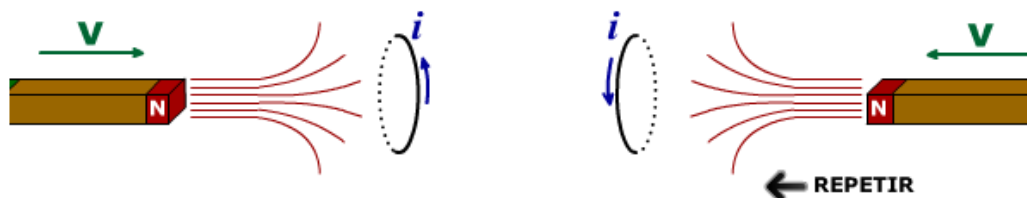




### LA LEY DE LENZ

El sentido de la corriente inducida se puede obtener de la ley de Lenz que establece que:

*El sentido de la corriente inducida sería tal que su flujo se opone a la causa que la produce.*

*En las figuras se puede observar que cuando el imán se acerca a las espiras, el flujo magnético a través de las espiras aumenta. De acuerdo con la Ley de Lenz, las corrientes inducidas deben crear flujos , que se deben oponer al aumento del flujo inicial, y los sentidos de las corrientes serán los indicados.*



	<b>FOC-ELEN20</b>		
	Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació	Conceptos Básicos	

$$E = - n \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

**E:** f.e.m. inducida

**n:** número de espiras de la bobina

**Df:** Variación del flujo

**Dt:** Tiempo en que se produce la variación de flujo

**Por ejemplo:** Si el flujo que atraviesa una bobina de **5 espiras** aumenta de 10 a 11 Webbers en una **décima de segundo**, la f.e.m. inducida vale:

$$E = 5 \frac{11 - 10}{0.1} = 5 \times 10 = 50 \text{ V.}$$

## Hans Christian Oersted



(Hans Christian Ørsted; Rudkøbing, Dinamarca, 1777-Copenhague, 1851)  
Físico y químico danés que descubrió la acción magnética de las corrientes eléctricas. Estudió Física y Farmacia en la Universidad de Copenhague. Terminados sus estudios, en 1794 fue nombrado adjunto de la Facultad de Medicina.

Durante el período de 1801 a 1803 viajó por Holanda, Alemania y Francia dando conferencias. En 1806 fue nombrado profesor de Física de la Universidad de Copenhague y posteriormente fue director del Instituto Politécnico de dicha ciudad.

Hans Christian Oersted

A comienzos de 1820, Oersted advirtió de forma casual, mientras realizaba observaciones sobre el fenómeno eléctrico con una pila análoga a la construida por A. Volta en 1800, que la aguja de una brújula colocada en las proximidades de un hilo conductor por el que circulaba una corriente eléctrica se desviaba. Repitió incesantemente estos experimento con pilas más potentes y



 GRUP SAS	<h1>FOC-ELEN20</h1>		
	Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació	Conceptos Básicos	

observó que la aguja oscilaba hasta formar un ángulo recto con el hilo y con la línea que unía la brújula y el hilo.



Si se la desplazaba de forma continua en la dirección que señalaba la aguja, la brújula describía entonces un círculo alrededor del hilo conductor. Invertiendo el sentido de la corriente eléctrica, cambiaba asimismo el sentido de la aguja de la brújula. Los efectos persistían incluso cuando se interponían placas de vidrio, metal o madera entre el hilo conductor y la brújula.

Oersted demostró poco después que el efecto era simétrico. No sólo el cable recorrido por una corriente ejercía fuerzas sobre un imán (la aguja de la brújula): también el imán desarrollaba una fuerza sobre la bobina (carrete formado por hilo conductor) por donde circulaba una corriente eléctrica, actuando un extremo de la bobina como el polo norte de un imán y el otro como el polo sur. Se establecía así la conexión entre los fenómenos eléctrico y magnético.

Sus resultados se publicaron el 21 de julio de 1820 en un folleto de cuatro hojas escrito en latín, difundido con celeridad a las academias científicas de toda Europa, cuyo título era "Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam". El 11 de septiembre de 1820 Arago comunicó al Instituto de Francia los resultados de Oersted. Entre la audiencia se encontraba Ampère, a la sazón catedrático de Matemáticas en la École Polytechnique, quien poco tiempo después presentaría una memoria considerada la fundación del electromagnetismo.

Oersted fundó poco tiempo más tarde una sociedad para la difusión de la ciencia e inició una intensa labor de conferenciante, a la vez que continuaba con sus investigaciones. En 1822 obtuvo el primer valor fiable de la compresibilidad del agua y en 1825 consiguió utilizar corrientes eléctricas para aislar el aluminio elemental del compuesto alúmina. Entre sus amistades se encontraba la del otro Hans Christian inmortal, Andersen. Por sus méritos científicos le fue concedida la Gran Cruz de Dannebrog.

Entre sus obras científicas destacan Tentamen nomenclaturae chemicae en 1814, Dissertato de forma metaphysices elementaris naturae externae en 1799, así como numerosos trabajos y publicaciones en revistas, sobre todo en Tidskrift for naturu den skaberne, de la que fue uno de los principales redactores.

 <b>GRUP SAS</b>	<b>FOC-ELEN20</b>		
	Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació	Conceptos Básicos	

## James Clerk Maxwell

(Edimburgo, 1831-Glenlair, Reino Unido, 1879) Físico británico. Nació en el seno de una familia escocesa de la clase media, hijo único de un abogado de Edimburgo. Tras la temprana muerte de su madre a causa de un cáncer abdominal –la misma dolencia que pondría fin a su vida–, recibió la educación básica en la Edimburg Academy, bajo la tutela de su tía Jane Cay.

Con tan sólo dieciséis años ingresó en la universidad de Edimburgo, y en 1850 pasó a la Universidad de Cambridge, donde deslumbró a todos con su extraordinaria capacidad para resolver problemas relacionados con la física. Cuatro años más tarde se graduó en esta universidad, pero el deterioro de la salud de su padre le obligó a regresar a Escocia y renunciar a una plaza en el prestigioso Trinity College de Cambridge.



En 1856, poco después de la muerte de su padre, fue nombrado profesor de filosofía natural en el Marischal College de Aberdeen. Dos años más tarde se casó con Katherine Mary Dewar, hija del director del Marischal College. En 1860, tras abandonar la recién instituida Universidad de Aberdeen, obtuvo el puesto de profesor de filosofía natural en el King's College de Londres.

En esta época inició la etapa más fructífera de su carrera, e ingresó en la Royal Society (1861). En 1871 fue nombrado director del Cavendish Laboratory. Publicó dos artículos, clásicos dentro del estudio del electromagnetismo, y desarrolló una destacable labor tanto teórica como experimental en termodinámica; las relaciones de igualdad entre las distintas derivadas parciales de las funciones termodinámicas, denominadas relaciones de Maxwell, están presentes de ordinario en cualquier libro de texto de la especialidad.

Sin embargo, son sus aportaciones al campo del electromagnetismo las que lo sitúan entre los grandes científicos de la historia. En el prefacio de su obra *Treatise on Electricity and Magnetism* (1873) declaró que su principal tarea consistía en justificar matemáticamente conceptos físicos descritos hasta ese momento de forma únicamente cualitativa, como las leyes de la inducción electromagnética y de los campos de fuerza, enunciadas por Michael Faraday.



Con este objeto, Maxwell introdujo el concepto de onda electromagnética, que permite una descripción matemática adecuada de la interacción entre electricidad y magnetismo mediante sus célebres ecuaciones que describen y

 GRUP SAS	<b>FOC-ELEN20</b>		
	Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació	Conceptos Básicos	

cuantifican los campos de fuerzas. Su teoría sugirió la posibilidad de generar ondas electromagnéticas en el laboratorio, hecho que corroboró Heinrich Hertz en 1887, ocho años después de la muerte de Maxwell, y que posteriormente supuso el inicio de la era de la comunicación rápida a distancia.

Aplicó el análisis estadístico a la interpretación de la teoría cinética de los gases, con la denominada función de distribución de Maxwell-Boltzmann, que establece la probabilidad de hallar una partícula con una determinada velocidad en un gas ideal diluido y no sometido a campos de fuerza externos. Justificó las hipótesis de Avogadro y de Ampère; demostró la relación directa entre la viscosidad de un gas y su temperatura absoluta, y enunció la ley de equipartición de la energía. Descubrió la birrefringencia temporal de los cuerpos elásticos translúcidos sometidos a tensiones mecánicas y elaboró una teoría satisfactoria sobre la percepción cromática, desarrollando los fundamentos de la fotografía tricolor.

La influencia de las ideas de Maxwell va más allá, si cabe, de lo especificado, ya que en ellas se basan muchas de las argumentaciones tanto de la teoría de la relatividad einsteiniana como de la moderna mecánica cuántica del siglo XX.

## **HEINRICH RUDOLPH HERTZ (1857 – 1894)**



***Físico alemán. Pionero en las investigaciones relacionadas con las ondas electromagnéticas y la electricidad. Descubridor de las ondas de radio o hertzianas.***



**Heinrich Rudolph Hertz**, físico alemán, nació en Hamburgo, el 22 de febrero de 1857. Hijo de un prominente abogado y legislador, desde joven demostró poseer aptitudes para la técnica construyendo diferentes tipos de instrumentos en un taller doméstico. De joven abandonó los estudios universitarios de ingeniería en la Universidad de Munich para dedicarse al estudio de la física en la Universidad de Berlín, bajo la tutela de Hermann von Helmholtz, uno de los más afamados físicos de la época, con el que comenzó a trabajar después en 1880, como asistente, en el Instituto de Física de Berlín.

En 1883 se dedicó a impartir conferencias de física teórica en la Universidad de Kiel y dos años más tarde pasó a desempeñar funciones de profesor de física en el Politécnico de Karlsruhe. En 1886 contrajo nupcias con la hija de un profesor de esa propia institución, con la que tuvo dos hijas.

En 1883 Hertz comenzó a interesarse en los estudios realizados diez años

 <b>GRUP SAS</b>	<h1>FOC-ELEN20</h1>		
	Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació	Conceptos Básicos	

antes por el científico escocés James Clerk Maxwell acerca del electromagnetismo. Maxwell, basándose en ecuaciones matemáticas, intuyó la existencia de las ondas electromagnéticas, aunque nunca pudo comprobar si sus predicciones eran ciertas.

Por su parte Hertz, por medio de un oscilador elemental que él mismo había construido y apoyado en las investigaciones que realizaba en el laboratorio de Karlsruhe, pudo demostrar en la práctica que las predicciones de Maxwell eran ciertas y que las ondas electromagnéticas no sólo se propagaban a través del espacio, sino que poseían también propiedades de reflexión, difracción, refracción, polarización e interferencia. Incluso llegó a comprobar que se propagaban a la misma velocidad de la luz, es decir, a 300 mil kilómetros por segundo, descubriendo que tanto la luz como el calor constituían, igualmente, radiaciones electromagnéticas. Sin embargo, Hertz no llegó a imaginar en ningún momento la importancia que tendría en el futuro el resultado de sus investigaciones para las transmisiones inalámbricas, pues en ese momento no le encontró aplicación práctica a su descubrimiento.

En 1889 Hertz fue nombrado profesor de física de la Universidad de Bonn, donde continuó realizando investigaciones relacionadas con descargas eléctricas en gases enrarecidos. Otro de sus descubrimientos fue el efecto fotoeléctrico.



Heinrich Rudolph Hertz murió enfermo, a la edad de 37 años, en la ciudad de Bonn, el 1ro. de enero de 1894.

En 1888 Hertz había descrito en una revista tecnológica de temas relacionados con la electricidad, la forma en que había generado ondas electromagnéticas en su oscilador. Por aquel entonces un físico italiano muy joven llamado [Guglielmo Marconi](#) leyó su artículo y se preguntó si se podría emplear el oscilador de Hertz y las ondas electromagnéticas para transmitir señales telegráficas inalámbricas. En 1894 Marconi comenzó a realizar sus primeros experimentos para mejorar la sensibilidad del oscilador y el receptor inalámbrico, incrementar su potencia y hacer que cubriera una distancia mucho mayor.

En el otoño de 1895, después de realizar muchas pruebas, el transmisor de Marconi podía cubrir una distancia de 2 kilómetros, superando incluso obstáculos naturales. Había nacido la transmisión inalámbrica por ondas de radio. Marconi se trasladó a Inglaterra, donde dio a conocer su transmisor. El 12 de diciembre de 1901 la letra "S" del código de telegrafía Morse atravesó el éter a través del Océano Atlántico, transmitida desde Poldhu, en Inglaterra hasta las costas de Terranova, en América, cubriendo una distancia de 3 400 km .

En honor a Heindrich Rudolph Hertz, en 1933 se tomó internacionalmente el acuerdo de denominar oficialmente "hertz" (Hz) a la unidad de medida de la



 <b>GRUP SAS</b>	<b>FOC-ELEN20</b>		
	Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació	Conceptos Básicos	

frecuencia de las ondas hertzianas, radiofrecuencia o altas frecuencias empleadas en las transmisiones inalámbricas.

Mediante el hertz se determina también la medida de la corriente alterna de baja frecuencia que llega hasta las industrias y nuestros hogares. Sus múltiplos como, por ejemplo, el kilohertz (kHz), el megahertz (MHz) y el gigahertz (GHz), se utilizan en la práctica para medir las altas frecuencia de todo tipo de emisiones inalámbricas, como las de radio, televisión, telefonía móvil o celular, radiocontrol, etc., así como la frecuencia de trabajo de los microprocesadores de los ordenadores o computadoras.

## **GUGLIELMO MARCONI** (1874 – 1937)

Marconi no asistió a la escuela hasta después de los 12 años, pues sus padres habían contratado un maestro para que le impartiera clases en la casa. Un profesor de física, llamado Vincenzo Rosa, entusiasta de la electricidad, logró interesarlo en el magnetismo y la producción de corriente eléctrica empleando pilas de construcción artesanal.



A la edad de 20 años, Marconi comenzó a asistir a las clases que impartía Augusto Righi, en la Universidad de Bolonia.

En esa universidad seguramente tuvo oportunidad de consultar algunos de los artículos relacionados con los avances científicos de la época en el campo de las ondas electromagnéticas. Se supone también que fue su amistad con Nello Marchetti, un telegrafista que se había quedado ciego, lo que lo relacionó con la telegrafía y el código Morse.

En 1888 el físico alemán Heinrich Rudolph Hertz, descubridor de las ondas conocidas hoy en día como ondas hertzianas o de radio, describió en una revista tecnológica de temas relacionados con la electricidad, la forma en que las ondas electromagnéticas se propagaban por el espacio y cómo las había podido generar utilizando un oscilador creado por él mismo.

En cierta ocasión que Marconi leyó dicho artículo pensó que tal vez el oscilador de Hertz se podía utilizar para transmitir señales telegráficas inalámbricas. Era la primera vez que alguien se planteaba esa posibilidad, pues Hertz solamente se había limitado a estudiar la analogía existente entre el comportamiento de las ondas electromagnéticas por él descubiertas y las características de las ondas luminosas, sin suponer siquiera que pudieran tener un uso práctico. En 1894, en una finca que poseía la familia en Pontecchio, cerca de Bolonia, Marconi comenzó a realizar sus primeros experimentos, para lo cual construyó un emisor y un receptor basado en el modelo creado por Hertz.

En sus experimentos comprobó que era posible mejorar el alcance de las transmisiones que realizaba, utilizando antenas verticales. Trató, además, de

 <b>GRUP SAS</b>	<h1>FOC-ELEN20</h1>		
	Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació	Conceptos Básicos	

mejorar la sensibilidad del oscilador y del receptor inalámbrico, incrementar su potencia y hacer que cubriera una mayor distancia.

En el otoño de 1895, después de haber realizado muchas pruebas, Marconi logró que su transmisor cubriera una distancia de 2 kilómetros e incluso superara obstáculos naturales. Para entonces, con tan sólo 23 años de edad, había logrado hacer realidad la transmisión inalámbrica.

Durante la infancia y juventud su padre se había esforzado para que desarrollara una mentalidad comercial, por lo que siendo ya adulto sus trabajos de investigación no sólo contemplaban el aspecto científico, sino también el comercial, sobre todo lo relacionado con las patentes de los inventos.

Debido al poco apoyo e interés que en Italia despertó su invento, Marconi se trasladó a Inglaterra, donde lo dio a conocer patentándolo como “Sistema de Telegrafía Inalámbrica”. En ese país creó de inmediato la “Wireless Telegraph and Signal Company, Ltd.”, que posteriormente, en 1900, pasó a llamarse “Marconi’s Wireless Telegraph Company, Ltd”.

En ese mismo lugar, que funcionó también como cuartel general de investigaciones, fue donde Marconi expuso la importancia que tenía su invento para el desarrollo de la humanidad.

Con las pruebas y mejoras que introdujo en su transmisor y receptor de señales de radio, el 12 de diciembre de 1901 la letra “S” del código de telegrafía Morse pudo atravesar el éter a través del Océano Atlántico.

Esa señal, que fue transmitida desde Poldhu (situado en Cornwall, Inglaterra), logró ser captada en St. John, Newfoundland (situado en las costas de Terranova, en América del Norte).

La transmisión, que constituyó un rotundo éxito, recorrió una distancia aproximada de 3 mil 400 km a través del Océano Atlántico.

De esa forma Marconi no sólo demostró que era posible transmitir mensajes inalámbricos en código Morse cubriendo largas distancias, sino que también las señales de radio se propagaban más allá del horizonte, cuestión que habían puesto en duda los científicos, tenido en cuenta la curvatura de la Tierra.

Apuntes y Prácticas:

[Electromagnetismo](#)