



Electromagnetismo: circuito resonante

Pedro Guzmán Tinajero,^{*} **Aidé Castro Fuentes,**^{**} **Ramón Osorio Galicia,**^{***} **Víctor Hugo Hernández Gómez**^{****}

RESUMEN

El presente artículo muestra las experiencias de los académicos del Claustro de Teoría Electromagnética, para enfrentar la enseñanza del circuito resonante (RCL). Considerando un ejemplo de aplicación, para cumplir los temas de la asignatura de Teoría Electromagnética, impartida a los alumnos de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones Sistemas y Electrónica.

Como resultado de la investigación se observó que la linealidad esperada por el comportamiento de la Ley de Ohm en forma vectorial, se ve afectada por la frecuencia. Obteniendo una campana de gauss en lugar de un efecto de recta esperado como se hace mención en la teoría constantemente.

ABSTRACT

This article shows the experiences of the academics of the Electromagnetic Theory, to face the teaching of the resonant circuit (RCL). Considering an example of application, to meet the topics of the subject of Electromagnetic Theory, taught to students of the Engineering in Telecommunications Systems and Electronics.

As a result of the investigation, it was observed that the linearity expected by the behavior of Ohm's Law in vector form is affected by the frequency. Obtaining a Gaussian bell instead of an expected line effect as constantly mentioned in theory.

Palabras claves: Electromagnetismo, Prácticas, Teoría Electromagnética, Conocimiento, Aplicación.

INTRODUCCIÓN

La Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC), nació como uno de los primeros Campus Académicos fuera del área de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), fue fundada el 22 de abril de 1974, como Escuela Nacional de Estudios Profesionales Cuautitlán (ENEPC), adquiriendo el grado de Facultad posteriormente al contar con

estudios de posgrado. Actualmente cuenta con 17 carreras, una de ellas a distancia y se ha caracterizado por el trabajo multi e interdisciplinario, en una estructura matricial.

Uno de los Departamentos que atiende varias carreras dentro de la FESC es el Departamento de Física, los profesores que integran el Departamento han trabajado desde hace varios años en Claustros del conocimiento, buscando la mejora continua, para brindar a los alumnos y alumnas, un mayor conocimiento adaptándose a las necesidades del país.

ANTECEDENTES

El Claustro de Teoría Electromagnética se encuentra integrado actualmente por los siguientes académicos:

Ing. Baruch Arriaga Morales, Ing. Eduardo Carrizales Ramírez, Ing. Aide Castro Fuentes, Ing. Juan Rogelio Castro Sánchez, Ing. Lucía García Luna, Dr. Pedro Guzmán Tinajero, Dr. Ramón Osorio Galicia, Ing. Ángel Rueda Ángeles, Ing. César Rueda Ángeles, Ing. Antonio Serrano Aponte, Ing. Ana María Terreros de la Rosa y Dr. Víctor Hugo Hernández Gómez, Carlos González Hernández y Gilberto González Ortiz.

En la carrera de Ingeniero en Telecomunicaciones Sistemas y Electrónica, la asignatura de Teoría Electromagnética se imparte en el quinto semestre. Es una materia obligatoria y cuenta con 10 créditos ya que su naturaleza es teórico - práctica. Es decir, cuenta con una parte experimental que se imparte en el laboratorio.

Las prácticas de laboratorio se han ido revisando por el Claustro de manera semestral, en el circuito oscilador pasivo (CL), se muestra a los alumnos la formación y propagación de la Onda TEM, sin embargo, se consideró la posibilidad de anexar el circuito amortiguado (RCL), derivado de las pérdidas en los procesos de propagación. Esto considerando que el futuro inmediato es el desarrollo de las Telecomunicaciones espaciales.

DESARROLLO

En el Claustro de Teoría Electromagnética, se decidió de manera colegiada que todas las prácticas que integran el manual, debían estar conformadas por la misma estructura, ésta contaría con nueve rubros como se observa en la tabla 1.

^{*} Dr. Pedro Guzmán Tinajero. Departamento de Física. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Carretera Cuautitlán-Teoloyucan km 2.5, Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Correo electrónico: pgconacyt@gmail.com.

^{**} Ing. Aide Castro Fuentes. Departamento de Física. Correo electrónico: imefuentes@hotmail.com.

^{***} Dr. Ramón Osorio Galicia. Departamento de Física. Correo electrónico: rosoriog@unam.mx.

^{****} Dr. Víctor Hugo Hernández Gómez. Departamento de Ingeniería. Laboratorio de Investigación en energías Renovables – UIM. Correo electrónico: vichugo@unam.mx.



Tabla 1.- Estructura general de las prácticas

No.	Nombre
I	Portada
II	Conocimientos previos
III	Objetivos
IV	Fundamentos teóricos
V	Material y equipo
VI	Cuestionario previo
VII	Desarrollo
VIII	Conclusiones
IX	Bibliografía y referencias

Fuente: Claustro de Teoría Electromagnética FESC

Una vez acordada la forma que tendrían los documentos, se revisó el plan de estudios vigente de la asignatura de Teoría Electromagnética (Aprobado por el Consejo Técnico de la Facultad) y publicado en la página oficial de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, FESC [1], con la finalidad de hacer las prácticas acordes a la teoría.

Actualmente, en el manual de prácticas de Teoría Electromagnética, se cuenta con 8 prácticas, como se observa en la tabla 2.

Tabla 2.- Estructura general de las prácticas

No.	Nombre
I	Leyes de Gauss
II	Ley de Faraday - Lenz
III	Ley de Ampère
IV	Ondas TEM
V	Propagación de ondas TEM
VI	Espectro electromagnético
VII	Potencia electromagnética
VIII	Líneas de cable coaxial

Fuente: Claustro de Teoría Electromagnética FESC

La práctica IV Ondas TEM, es considerada una de las fundamentales en el estudio de la Teoría Electromagnética. Esto es derivado de la importancia, para los alumnos y alumnas, de conocer los circuitos básicos generadores de ondas como es el caso del circuito CL, considerado como circuito oscilador de tipo pasivo.

LA PRÁCTICA IV

La práctica IV se bautizó con el nombre de Ondas TEM, debido a que pertenece al programa aprobado por el H. Consejo Técnico, en su Unidad 2. Ondas electromagnéticas y tiene un impacto directo con el subtema 2.4 Ondas Electromagnéticas en el Espacio Libre. Como se puede apreciar en la figura 1.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN LICENCIATURA: INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES SISTEMAS Y ELECTRÓNICA			
DENOMINACIÓN DE LA ASIGNATURA: Teoría Electromagnética			
IDENTIFICACIÓN DE LA ASIGNATURA			
MODALIDAD: Curso			
TIPO DE ASIGNATURA: Teórico - Práctica			
SEMESTRE EN QUE SE IMPARTE: Quinto			
CARÁCTER DE LA ASIGNATURA: Obligatoria			
NÚMERO DE CRÉDITOS: 10			
HORAS DE CLASE A LA SEMANA:	Teóricos: 4	Prácticos: 2	SEMANAS DE CLASE: 16
			TOTAL DE HORAS: 96
SERIACIÓN INDICATIVA ANTERIORES: Electricidad y Magnetismo			
SERIACIÓN OBLIGATORIA SUBSECUENTE: Ninguna			
OBJETIVO GENERAL Al finalizar el curso el alumno comprenderá las Leyes de comportamiento de las ondas electromagnéticas y su interacción en distintos medios de propagación.			
INDICE TEMÁTICO			
UNIDAD	TEMA	Horas Teóricas	Horas Prácticas
1	Fundamentos de Electrodinámica	12	8
2	Ondas Electromagnéticas	18	8
3	Transmisión de Ondas Electromagnéticas	18	8
4	Líneas de Transmisión	16	8
	Total de Horas	64	32
	Suma Total de las Horas		96

Figura 1.- Temario de Teoría Electromagnética
Fuente: FESC (2023)

En la última revisión del manual de prácticas para el período 2023-II, la práctica IV Ondas TEM, contaba con un procedimiento que permitía llevar a los alumnos y alumnas a conocer el circuito oscilador pasivo CL, alimentándolo con un generador de señales.

En el desarrollo se iniciaba con un circuito solamente capacitivo, para mostrar que este elemento solo no producía oscilaciones y que la señal de entrada era prácticamente una copia calca de la señal en el Generador de señales. Ver figura 2.

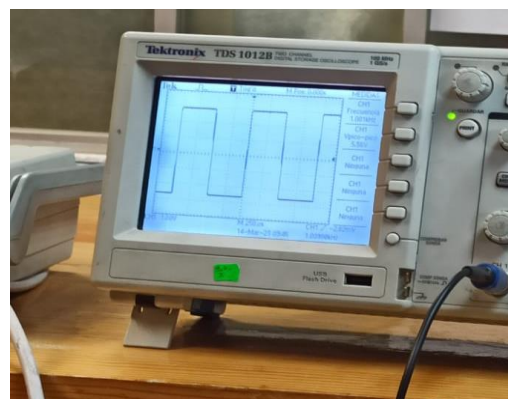


Figura 2.- Señal cuadrada alimentando un capacitor
Fuente: Claustro de Teoría Electromagnética FESC



Posteriormente se añade al circuito capacitivo un inductor conectado en serie. Ver figura 3., esto que produce un circuito oscilador, en este nuevo arreglo se observan las componentes capacitivas e inductivas interactuar con la señal de alimentación y se mide su impacto en una señal senoidal, triangular y finalmente cuadrada.

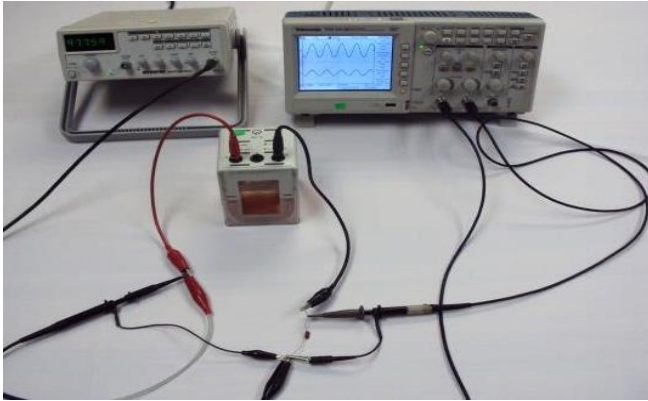


Figura 3.- Material y Equipo

Fuente: Claustro de Teoría Electromagnética FESC

La señal cuadrada actúa para este caso como una componente continua la mitad de su intervalo periódico, proporcionando una oscilación equivalente a la obtenida por una señal de corriente continua. Ver figura 4.

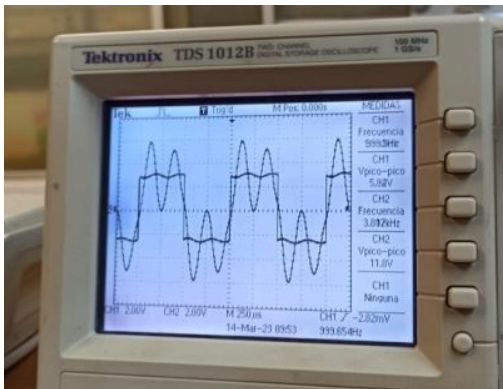


Figura 4.- Respuesta oscilatoria en una señal cuadrada

Fuente: Claustro de Teoría Electromagnética FESC

Sin embargo, se detecta de manera experimental que, al cambiar la frecuencia, la cantidad de ondas producidas en la mitad de la onda alimentada por el generador de funciones, también cambia produciendo incluso un efecto visual de mayor de atenuación. Ver figura 5

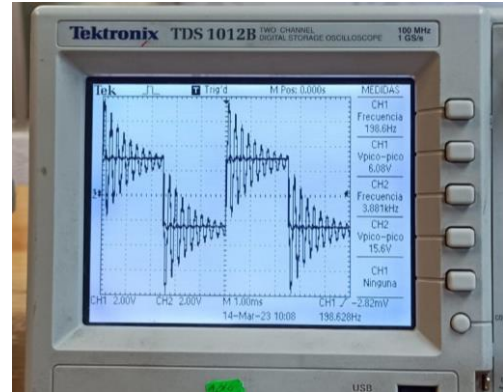


Figura 5.- Respuesta oscilatoria en una señal cuadrada

Fuente: Claustro de Teoría Electromagnética FESC

Este hallazgo para los alumnos los llevó a cuestionar el efecto atenuante que tiene la parte resistiva del circuito, así como la importancia de la frecuencia en este tipo de arreglos. Brindando la pauta para adicionar a la práctica el concepto de señal amortiguada (RCL) y el efecto de resonancia asociado a la frecuencia.

RESISTOR Y RESISTENCIA

Como menciona Guzmán [2]. El resistor es un elemento eléctrico que deja pasar la corriente eléctrica, pero a cambio “se queda con algo”, en el caso de los circuitos ese algo es voltaje, transformándolo en luz o en calor.

Los resistores pueden ser de diversos materiales como: carbón, metal, cerámica, silicio, cromo o níquel entre otros componentes. Los más comunes y que usamos en el laboratorio de Teoría Electromagnética son de carbón, aunque en algunos casos llegamos a utilizar de cerámica. Los de carbón vienen marcados con un código de colores, su representación en diagramas eléctricos es una línea quebrada, Ver figura 6.

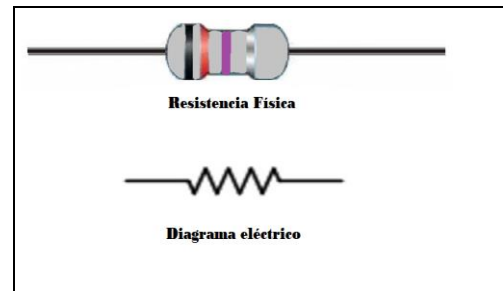


Figura 6.- Resistencia Eléctrica

Fuente: Claustro de Teoría Electromagnética FESC



REACTANCIA ELÉCTRICA

La reactancia eléctrica es el valor de la resistencia imaginaria de un capacitor o un inductor al paso del flujo de cargas cuando se le alimenta con un voltaje de corriente alterna. Existen reactancias tanto capacitivas X_C como inductivas X_L , en ambos casos afectadas por la frecuencia angular ω , estos valores son representados por números imaginarios enmarcados por la letra j (no se utiliza i , para no confundirla con la intensidad de corriente eléctrica), es interesante apuntar que la reactancia capacitiva y la reactancia inductiva se presentan con signos opuestos, lo que brinda la oportunidad de su anulación en la suma algebraica produciendo el fenómeno conocido como resonancia, Ver Ecs. (1) – (2) (Autoría propia)

$$X_L = j \omega L \quad (1)$$

$$X_C = -j \frac{1}{\omega C} \quad (2)$$

Se debe recordar que la presencia de la alternancia se encuentra en la variación angular ω , pues ésta está conformada por la frecuencia de la onda y la relación de 2π . Por consiguiente, una variación en la frecuencia invariablemente causará una variación en la “resistencia” que ofrece el capacitor y el inductor respectivamente.

RESONANCIA ELÉCTRICA

Como se apuntó previamente la resonancia se produce cuando la reactancia capacitiva y la reactancia inductiva poseen la misma magnitud, ya que derivado de su signo algebraico al sumarlas, éstas se restan, ofreciendo la posibilidad de anularse matemáticamente a pesar de existir físicamente. Considerando la impedancia como el número complejo formado por el circuito RCL, su puede considerar a ésta en la Ec (3). (Autoría propia)

$$Z = R + j \omega L - j \frac{1}{\omega C} \quad (3)$$

Por consiguiente, en un circuito resonante la impedancia debe comportarse totalmente real, es decir como si no existiera la componente capacitiva y la inductiva. Ec. (4) (Autoría propia)

$$Z = R + 0j \quad (4)$$

EXPERIMENTO

Para brindar la oportunidad de observar el fenómeno de resonancia, se solicitó el material y equipo de la tabla 3, posteriormente se realizaron pruebas considerando diferentes frecuencias, menores y mayores a la teórica, calculada con la fórmula de la frecuencia de resonancia indicada en la Ec. (4). (Autoría propia)

Tabla 3.- Material para realizar el efecto de resonancia

Cantidad	Material y Equipo
1	Osciloscopio con sus puntas
1	Generador de funciones o señales con su punta
1	Capacitor cerámico de 47 nF
1	Inductor de 36 mh
1	Resistor de 1000 Ω
1	Juego de cables de conexión

Fuente: Claustro de Teoría Electromagnética FESC

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4)$$

El valor calculado para la frecuencia de resonancia fue de 3,869.18 Hz. Al considerar los valores del Capacitor cerámico de 47 nF, del Inductor de 36 mh y del Resistor de 1000 Ω . Esta frecuencia teórica se calculó considerando los parámetros nominales de los equipos. Primero se conectó un circuito puramente resistivo tomando las lecturas de corriente eficaz, posteriormente el circuito RCL con una frecuencia por debajo de la de resonancia, midiendo nuevamente la corriente, realizando el mismo experimento a la frecuencia de resonancia y finalmente por encima de ésta.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Al conectar el circuito puramente resistivo se obtuvo una corriente eficaz de 5.16 mA, cuando se conectó el circuito RCL a una frecuencia de 3,853.7 Hz.

Cuando se alimentó el circuito RCL a una frecuencia de 1.54 KHz, se obtuvo una corriente eficaz de 2.42 mA, cuando se subió la frecuencia a 5.2 KHz se obtuvo una corriente eficaz de 4.54 mA, sin embargo, cuando se aumentó a la frecuencia a 6 KHz, la corriente volvió a bajar a hora a 4.02mA. Y al llegar a 7 KHz nuevamente bajó la corriente hasta 3.89 mA.

Se observó entonces que se estaba haciendo una campana de Gauss, donde el valor máximo tendía a la frecuencia de resonancia. Pero al sobrepasar éste la tendencia era a la baja nuevamente.

Al alimentar a la frecuencia de resonancia de 3.85 KHz la corriente subió a 5.03 mA. En otras palabras, la corriente máxima se obtuvo a los valores de resonancia. Sin embargo, la corriente teórica esperada con valores nominales era de 5.3 mA y la obtenida experimentalmente con el circuito puramente resistivo fue de 5.16 mA. Esto quiere decir que existieron algunas pérdidas que, aunque mínimas, deben ser consideradas cuando impartimos la cátedra ante los alumnos de licenciatura.

CONCLUSIONES

Para los futuros ingenieros e ingenieras en Telecomunicaciones, Sistemas y Electrónica, resulta imprescindible contar con bases de Teoría Electromagnética. Si bien es cierto que los cálculos teóricos se aproximan mucho a los prácticos, el vivenciar en el laboratorio el efecto resonante en los circuitos RCL les permite una mejor comprensión de los efectos inductivos y capacitivos.

Temas como el vector de Pointyng, son más sencillos de entender cuando los alumnos y alumnas observan los modelos electrónicos



en el laboratorio, considerando las semejanzas e incluso las vinculaciones de una onda magnética con un inductor, una onda eléctrica con el capacitor y un medio de propagación con el resistor. Finalmente, es importante recalcar que los valores nominales de los materiales y equipos están sujetos al propio uso y desgaste de los mismos, así como a condiciones como alimentación o temperatura de operación. Pero, a pesar de ello, resultan muy convenientes para el modelado de las Ondas TEM, objetivo de esta práctica.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

FESC (2023). Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
<https://www.cuautitlan.unam.mx/licenciaturas/itse/>. México 2023.

Guzmán, P. et al (2022). Estudio práctico del Circuito RL en corriente directa y alterna. Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica. AÑO 7. No. 7. ISSN-2448-7236. SEPTIEMBRE 2022 – AGOSTO 2023. FE-02. 1 - 7.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Pedro Guzmán Tinajero. Doctor en Gestión Tecnológica e Innovación. Responsable del Claustro de Teoría Electromagnética del Departamento de Física de la FES Cuautitlán y Profesor de carrera del Departamento de Física de la FES Cuautitlán.

Aide Castro Fuentes. Ingeniera Mecánica Electricista. Miembro del Claustro de Teoría Electromagnética del Departamento de Física de la FES Cuautitlán de la UNAM.

Ramón Osorio Galicia. Doctor en Educación. Miembro del Claustro de Teoría Electromagnética del Departamento de Física de la FES Cuautitlán.

Víctor Hugo Hernández Gómez. Doctor en Ingeniería. Responsable del Laboratorio en Energías Renovables de la FES Cuautitlán. Profesor de carrera del Departamento de Ingeniería de la FES Cuautitlán.