



Carrera: Ingeniería Eléctrica				
Unidad Curricular: COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNETICA				Código: ECE
Prelación: 100 Creditos Académicos				Condición: Electiva
HT: 3	HP: 1	HL: 2	HTI: 6	Créditos: 3
Ubicación: Décimo tercero, cuarto o quinto trimestre		Componente: Formación Profesional Específica		Fecha de Aprobación:

HT: Horas teóricas; HP: Horas Prácticas; HL: Horas de Laboratorio; HTI: Horas de Trabajo Independiente

I. JUSTIFICACIÓN

Los avances tecnológicos que se han dado en los últimos años han hecho que regularmente se incremente el número de equipos y componentes existentes en un mismo ambiente (oficina, laboratorio, industria, residencia, etc.), aumentando así notablemente las emisiones electromagnéticas de estos elementos y en consecuencia la interferencia entre ellos y con otros equipos. Esto ha creado la necesidad de regular internacionalmente las emisiones producidas por los diferentes equipos y de medir dichas emisiones.

Venezuela es un país en vías de desarrollo que no se escapa de esta problemática, encontrándose serios problemas a nivel industrial. En consecuencia surge la necesidad de incluir en el plan de estudios de Ingeniería Eléctrica la asignatura Compatibilidad Electromagnética con la finalidad de preparar los ingenieros electricistas para analizar y resolver tales problemas.

II. COMPETENCIAS ESPECÍFICAS Y GENÉRICAS A DESARROLLAR SEGÚN EL PERFIL

La unidad curricular contribuirá al desarrollo de las competencias genéricas y específicas del perfil de egreso que se indican a continuación.

GENÉRICAS	ESPECÍFICAS
<p>G2. Comunicación eficaz oral y escrita: Comunica de manera clara y correcta ideas y opiniones en el idioma castellano, mediante la expresión oral, la escritura y los apoyos gráficos para un adecuado desempeño en entornos sociales y culturales diversos.</p> <p>G3. Aprendizaje, desarrollo personal y profesional: Aprende por iniciativa e interés propio a lo largo de la vida, en función de sus objetivos y sobre la base de la formación adquirida, para adaptarse e impulsar nuevas situaciones y alcanzar la realización personal y profesional.</p>	<p>E6. Opera y controla equipos, instalaciones y sistemas de: conversión de energía, instrumentación, control y protección, electrónicos y de comunicaciones básicas, fundamentado en conocimientos científicos, normas y técnicas, para garantizar su funcionamiento continuo, así como la utilización y consumo de energía eléctrica y su optimización.</p> <p>E8. Identifica problemas en el área de la ingeniería eléctrica y busca su solución aplicando metodologías y técnicas propias de la investigación científica, divulgando los hallazgos con el interés de fortalecer la producción científica del país.</p>

<p>G4. Ética, responsabilidad profesional y compromiso social: Actúa con conciencia ética y cívica, en el contexto local, nacional y global, sustentado en principios y valores de justicia y defensa de los derechos fundamentales del hombre para dar respuesta oportuna a las necesidades que la sociedad le demanda como persona, ciudadano y profesional, estimando el impacto económico, social y ambiental de las soluciones propuestas.</p> <p>G6. Liderazgo y trabajo en equipo : Integra equipos de trabajo, con adecuado desempeño de las relaciones interpersonales, en los que fomenta valores como el respeto, la responsabilidad, la unidad y la cooperación, con el propósito de desarrollar proyectos que motiven y conduzcan hacia metas comunes.</p> <p>G7. Gestión tecnológica: Utiliza con idoneidad las tecnologías de la información y la comunicación, requeridas para desempeñarse en el contexto académico y profesional.</p> <p>G8. Resolución de problemas: Identifica y plantea problemas para resolverlos con criterio y de forma efectiva, utilizando la lógica, los saberes adquiridos y herramientas organizadas adecuadamente.</p> <p>G11. Abstracción, análisis y síntesis. Delimita los elementos de un proyecto, diseño o problema para su análisis y posterior integración al todo.</p>	<p>E9. Desarrolla tecnologías o las adapta con el interés de dar soluciones óptimas a diversos problemas asociados a cada contexto laboral en particular.</p>
--	--

III. RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Al finalizar con éxito la unidad curricular el estudiante:

RA1. Aplica los conceptos de Compatibilidad Electromagnética y los Métodos para eliminar la interferencia Electromagnética en los diferentes sistemas de energía para determinar su comportamiento y ofrecer soluciones a problemas relacionados con interferencia y compatibilidad electromagnética

RA2. Conoce y aplica las Regulaciones Internacionales sobre EMC en los diferentes diseños eléctricos para garantizar el buen funcionamiento de las instalaciones.

RA3. Determina el acoplamiento capacitivo y magnético que se pueden generar en una instalación eléctrica para establecer técnicas que puedan evitarlas así como plantear la forma como se controla este tipo de interferencia.

RA4. Diseña los sistemas de Tierra (Grounding) y de apantallamiento en las diferentes instalaciones eléctricas y sistemas de energía para garantizar la seguridad de las mismas y del personal que las maneja y asegurar la compatibilidad electromagnética de los equipos instalados.

RA5.- Determina Fuentes y receptores de interferencias electromagnéticas en un sistema electrónico que pueden causar el malfuncionamiento del mismo y aplica los correctivos necesarios para conseguir la compatibilidad electromagnética del sistema.

RA6.- Determina cuales son los filtros de línea que sirven para atenuar las emisiones conducidas y de esa forma poder eliminar señales de interferencias de alta frecuencia mediante el uso de filtros apropiados. **IV. CONTENIDOS**

a. Contenidos Conceptuales, Procedimentales y Actitudinales

Resultados de Aprendizaje	Contenidos
<p>RA1. Aplica los conceptos de Compatibilidad Electromagnética y los Métodos para eliminar la interferencia Electromagnética en los diferentes sistemas de energía para determinar su comportamiento y ofrecer soluciones a problemas relacionados con interferencia y compatibilidad electromagnética</p>	<p>Conceptuales: Interferencia Electromagnética (EMI). Susceptibilidad Electromagnética (EMS). Trayectoria Típica de ruido. Métodos para eliminar la interferencia Electromagnética.</p> <p>Procedimentales: Aplica los conceptos de Compatibilidad Electromagnética en los diferentes sistemas de energía para determinar su comportamiento. Aplica adecuadamente los métodos para eliminar la interferencia Electromagnética.</p> <p>Actitudinales: Reconoce la necesidad de diseñar sistemas compatibles electromagnéticamente Asume el rol que debe jugar un ingeniero en los procesos inspección y supervisión de los sistemas eléctricos que garanticen la compatibilidad electromagnética</p>
<p>RA2. Conoce y aplica las Regulaciones Internacionales sobre EMC en los diferentes diseños eléctricos para garantizar el buen funcionamiento de las instalaciones.</p>	<p>Conceptuales: Regulaciones Internacionales sobre EMC.</p> <p>Procedimentales: Conoce y aplica las Regulaciones Internacionales sobre EMC en los diferentes diseños eléctricos Adapta las regulaciones Internacionales sobre EMC a las condiciones nacionales.</p> <p>Actitudinales:</p>
	<p>Reconoce la necesidad de aplicar las regulaciones internacionales sobre EMC Asume el rol que debe jugar un ingeniero en los procesos inspección y supervisión de los sistemas eléctricos que garanticen la compatibilidad electromagnética</p>

<p>RA3. Determina el acoplamiento capacitivo y magnético que se pueden generar en una instalación eléctrica para establecer técnicas que puedan evitarlas así como plantear la forma como se controla este tipo de interferencia.</p>	<p>Conceptuales: Acoplamiento Magnético. Efecto del apantallamiento de los cables en el acoplamiento magnético. Apantallamiento para radiación magnética. Cable coaxial vs. Par trenzado apantallado. Efecto “rabo de cochino” (pigtail). Cables planos. Cables planos eléctricamente largos.</p> <p>Procedimentales: Determina el acoplamiento capacitivo y magnético que se pueden generar en una instalación eléctrica Evalúa el efecto de los diferentes tipos apantallamiento Identifica los diferentes tipos de Cables y conoce su aplicación</p> <p>Actitudinales: Reconoce la necesidad de diseñar sistemas compatibles electromagnéticamente Asume el rol que debe jugar un ingeniero en los procesos inspección y supervisión de los sistemas eléctricos que garanticen la compatibilidad electromagnética</p>
<p>RA4. Diseña los sistemas de Tierra (Grounding) y de apantallamiento en las diferentes instalaciones eléctricas y sistemas de energía para garantizar la seguridad de las mismas y del personal que las maneja y asegurar la compatibilidad electromagnética de los equipos instalados.</p>	<p>Conceptuales: Los propósitos de la puesta a tierra. Definiciones de la tierra CEM. Técnicas de puesta a tierra. Campo lejano y Campo cercano. Impedancia de Onda y Característica. Efectividad del apantallamiento. Pérdidas por absorción. Pérdidas por reflexión. Pérdidas compuestas. Apantallamiento con materiales magnéticos. Aperturas.</p> <p>Procedimentales: Identifica los diferentes tipo de tierras que existen Diseña los sistemas de Tierra y de apantallamiento en las diferentes instalaciones eléctricas y sistemas de energía siguiendo las normativas adecuadas</p> <p>Actitudinales: Reconoce la necesidad de diseñar buenos sistemas de puesta a tierra y apantallamiento en la instalaciones eléctricas y sistemas de potencia Asume el rol que debe jugar un ingeniero en los procesos inspección y supervisión de los sistemas eléctricos que garanticen la compatibilidad electromagnética</p>
<p>RA5. Determina Fuentes y receptores de interferencias electromagnéticas en un sistema electrónico que pueden causar el malfuncionamiento del mismo y aplica los correctivos necesarios para conseguir la compatibilidad electromagnética del sistema.</p>	<p>Conceptuales: Ruido de modo diferencial. Ruido de modo común. Generadores de ruido en ambientes industriales. Equipos sensibles a interferencias electromagnéticas. Armónicos generados por cargas no lineales. Sobretensiones causadas por descargas atmosféricas. Protectores contra sobretensiones.</p> <p>Procedimentales: Recopila información sobre malfuncionamiento de equipos. Hace inspección visual de los apantallamientos , cableado y puesta a tierra del sistema. Realiza las mediciones que crea conveniente para detectar el problema de malfuncionamiento de equipos y determina si se debe a interferencias electromagnéticas. Aplica los correctivos necesarios.</p> <p>Actitudinales: Reconoce la importancia de conocer las fuentes que producen interferencia electromagnética Asume el rol que debe jugar un ingeniero en los procesos inspección y supervisión de los sistemas eléctricos que garanticen la compatibilidad electromagnética</p>

<p>RA6.- Determina cuales son los filtros de línea que sirven para atenuar las emisiones conducidas y de esa forma poder eliminar señales de interferencias de alta frecuencia mediante el uso de filtros apropiados.</p>	<p>Conceptuales: Componentes Pasivos: Inductores, Capacitores, Ferritas, Filtros de línea y de señal, Transformadores de aislamiento, Acondicionadores de Potencia, UPS, Supresores de transitorios, Empalmes, Continuidad de las puestas a tierra, Reducción de impedancias de Radio Frecuencia, Pantallas.</p> <p>Procedimentales: Determina cuales son los filtros de línea que sirven para atenuar las emisiones conducidas Identifica como forma poder eliminar señales de interferencias de alta frecuencia mediante el uso de filtros apropiados.</p> <p>Actitudinales: Reconoce la necesidad utilizar filtros de línea que sirven para atenuar las emisiones conducidas Asume el rol que debe jugar un ingeniero en los procesos inspección y supervisión de los sistemas eléctricos que garanticen la compatibilidad electromagnética</p>
--	---

b. Temario

UNIDAD/TEMA	CONTENIDO	Tiempo (horas)
Tema 1. Compatibilidad Electromagnética (EMC)	Interferencia Electromagnética (EMI). Susceptibilidad Electromagnética (EMS). Trayectoria Típica de ruido. Ruido Conducido y Ruido Radiado. Métodos para eliminar la interferencia Electromagnética. Logaritmo y Decibel. Regulaciones Internacionales sobre EMC.	10
Tema 2. Cableado	Acoplamiento capacitivo. Acoplamiento Magnético. Efecto del apantallamiento de los cables en el acoplamiento magnético. Apantallamiento para radiación magnética. Datos experimentales. Cable coaxial vs. Par trenzado apantallado. Efecto "rabo de cochino" (pigtail). Cables planos. Cables planos eléctricamente largos.	12
Tema 3. Sistemas de Puesta a Tierra (Grounding).	Los propósitos de la puesta a tierra: Tierras de seguridad. Tierra funcional. Tierra para la protección contra rayos. Tierra CEM. Definiciones de la tierra CEM: Superficie equipotencial, Trayectoria de retorno con baja impedancia, Trayectoria con baja impedancia de transferencia. Técnicas de puesta a tierra: Tierras aisladas, Tierras en estrella, Tierras tridimensionales con alto grado de interconexión. La impedancia en las conexiones de puesta a tierra. Empalmes efectivos de puesta a tierra. Anillos conductores usados en los empalmes. Empalme de bandejas y ductos. Puesta a Tierra del apantallamiento de los cables. Lazos de tierra. Ruido de modo común.	16
Tema 4. Acción de apantallamiento.	Campo lejano y Campo cercano. Impedancia de Onda y Característica. Efectividad del apantallamiento. Pérdidas por absorción. Pérdidas por reflexión. Pérdidas compuestas. Apantallamiento con materiales magnéticos. Aperturas.	7
Tema 5. Protección contra rayos.	Sobretensiones causadas por descargas atmosféricas. Efecto sobre aparatos electrónicos. Introducción sobre el diseño de sistemas de protección contra rayos. Norma IEC 62305	10

Tema 6. Armónicos en la red de energía eléctrica	Distorsión de la onda suministrada por la red eléctrica. Cargas lineales y no lineales. Distorsión armónica. Factor de potencia con cargas no lineales. Problemas causados por la presencia de armónicos. Norma IEEE STD 1100-2005	7
Tema 7. Estudio de problemas de IEM causados por la Variadores de velocidad y Técnicas para resolverlos.	Interferencia electromagnética causada por un variador de velocidad. Acoplamiento de ruido de modo común .Estudio del espectro de frecuencia generado. Malfuncionamiento de equipo electrónico sensible. Técnicas usadas para mejorar la compatibilidad electromagnética en estos casos.	10

V. REQUERIMIENTOS

Para el éxito en el desempeño de esta Unidad Curricular, el estudiante:

Realiza cálculos básicos de circuitos eléctricos

Aplica las propiedades de los materiales

VI. ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS

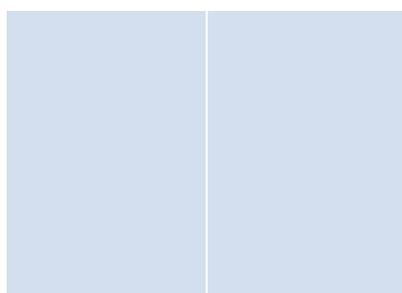
Se utiliza una metodología de aprendizaje grupal inductiva-deductiva que requiere de la participación activa y constante de los estudiantes en la búsqueda, lectura y análisis de la información que facilite la integración de los aspectos teórico-prácticos de la unidad curricular.

ACTIVIDAD	TÉCNICAS
<i>Clases de Teoría</i>	Se impartirán en el aula, siendo la presencia del alumno necesaria para un aprendizaje adecuado y una formación óptima. La metodología se basa clase expositiva centrada en el estudiante, con discusión socializada.
<i>Clases de Problemas</i>	Estas clases se intercalarán en el desarrollo de la asignatura de la forma más conveniente para el aprendizaje, no habrá días previamente asignados para ello. La metodología se fundamenta en el trabajo colaborativo para la resolución de problemas. El estudiante utilizará lógica deductiva, con la cual a partir de principios y leyes fundamentales puede solucionar teórica y experimentalmente problemas relacionados con el estudio de las propiedades más relevantes
<i>Tutorías</i>	Atención personalizada al alumno, presencial y a distancia. Son opcionales y recomendables para el aprendizaje de los alumnos que cursan regularmente la asignatura y asistan a las clases.
<i>Prácticas</i>	En equipo o individualmente, los estudiantes realizarán: problemas, trabajos escritos y prácticos, diseño y elaboración de programas con computador para la solución de problemas.

VII. SISTEMA DE EVALUACIÓN

Capítulo	Indicador de Logro	Resultado de Aprendizaje	Evidencias De Aprendizaje
-----------------	---------------------------	---------------------------------	----------------------------------

1	Aplica los conceptos de Compatibilidad Electromagnética en los diferentes sistemas de energía para determinar su comportamiento. Aplica adecuadamente los métodos para eliminar la interferencia Electromagnética. Conoce y aplica las Regulaciones Internacionales sobre EMC en los diferentes diseños eléctricos Adapta las regulaciones Internacionales sobre EMC a las condiciones nacionales.	RA1,RA2	Prueba escrita
2,3 y 4	Determina el acoplamiento capacitivo y magnético que se pueden generar en una instalación eléctrica Evalúa el efecto de los diferentes tipos apantallamiento Identifica los diferentes tipos de Cables y conoce su aplicación Identifica los diferentes tipo de tierras que existen Diseña los sistemas de Tierra y de apantallamiento en las diferentes instalaciones eléctricas y sistemas de energía siguiendo las normativas adecuadas	RA3 y RA4	Prueba escrita Informe de trabajo autónomo Desarrollo de software Procedimiento técnico Exposición
5,6 y 7	Aplica distintas fuentes de ruido intrínseco, Descargas, Fuentes de Ruido, Problemas de Interferencia electromagnética para determinar su comportamiento y las influencias que estas tienen sobre el sistema y así establecer Técnicas para resolverlos.	RA5 y RA6	Prueba escrita Desarrollo de software
	Verifica la Influencia de los diferentes tipos de ruidos en Sistemas Digitales y Analógicos que componen los diferentes sistemas de energía Determina cuales son los filtros de línea que sirven para atenuar las emisiones conducidas Identifica como forma poder eliminar señales de interferencias de alta frecuencia mediante el uso de filtros apropiados.		



VIII. RECURSOS

Recursos didácticos requeridos son: computador portátil, video beam, pizarrón, marcadores.

Recursos de infraestructura: aula con facilidades para la proyección y presentación de demostraciones prácticas.

IX. FUENTES DE INFORMACIÓN

Básicas

Ott Henry W (2009). *Electromagnetic Compatibility Engineering*, John Wiley.

Williams Tim (1997). *EMC Control y Limitación de Energía Electromagnética*, Paraninfo.

Williams Tim and Armstrong Keith (2000). *EMC For Systems and Installations*, Newnes.

Clayton Paul (2006). *Introduction to Electromagnetic Compatibility*. John Wiley.

Complementarias

Gary L Skibinski, Russel J. Kerkman and Dave Schlegel. *EMI Emissions of Modern PWM AC Drives*. IEEE Industry Applications Magazine, November/December 1999, pp. 47-81.

Mardiguian Michel (2000). *EMI Troubleshooting Techniques*. McGraw Hill,.

Sebastián José Luis (1999). *Fundamentos de Compatibilidad Electromagnética*, Addison Wesley .

Christopoulos Christos (2007). *Principles and Techniques of Electromagnetic Compatibility*, CRC Press.

Vijayaraghavan G., Brown Mark and Barnes Malcolm (2004). *Practical Grounding, Bonding, Shielding and Surge Protection*. Newnes.

Sitios web <https://www.cenam.mx/dme/pdf/compatibilidad%20electromagnetica-sep30-2005.pdf> www.esi2.us.es/DFA/ARFAI/ficheros_2010/EMC_2010.pdf

www2.electron.frba.utn.edu.ar/~jceconi/Bibliografia/10%20.../Guia%20EMC.pdf

www.usc.es/fagms/Docencia/cem%2007.../1_%20introduccionCEM.ivan_sabela.pdf

X. PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Práctica 1: Medición de Resistividad del terreno y resistencia de tierra Resultado de Aprendizaje:

- Medir la resistividad del terreno y la resistencia a tierra del terreno

Práctica 2: Análisis de señales de ruido usando el medidor de espectros Resultado de Aprendizaje:

- Determina Fuentes de interferencias electromagnéticas usando el analizador de espectros □
Comprueba la eficacia de los filtros de line para eliminar las interferencias.

Práctica 3: Interferencia electromagnética por diafonía Resultado de Aprendizaje:

- Comprueba el efecto inductivo en las líneas eléctricas.