



Grado de Ingeniería Electrónica de Comunicaciones

Curso
2025-2026

Ficha de la asignatura:	Fundamentos de Compatibilidad Electromagnética				Código	805983	
Materia:	Radiofrecuencia	Módulo:	Electrónica y Electromagnetismo				
Carácter:	Obligatorio		Curso:	3º	Semestre:	2º	
Créditos (ECTS)	7.5		4		2	1.5	
Presencial	-	Teóricos	32 %	Problemas	32 %	Laboratorio	70 %
Horas Totales			32		16		26

Profesor/a Coordinador/a:	Pedro Antoranz Canales			Dpto:	EMFTEL
	Despacho:	03.106.0	e-mail	antoranz@ucm.es	

Grupo	Profesores	T/P ¹	Dpto.	e-mail
único	Pedro Antoranz Canales	T/P	EMFTEL	antoranz@ucm.es

¹: T:teoría, P:prácticas

Grupo	Horarios de clases			Tutorías (lugar y horarios)
	Día	Horas	Aula	
único	M	11:00 – 12:30	14	P. Antoranz: Des. 03.106.0, Semestre 1: M, 15:30 - 17:00; V, 10:00-11:30 Semestre 2: M y J:15:30 -17:00 L. A. Tejedor (latejedo@ucm.es): Laboratorio 03.219.B Sem. 1 y 2, L: 9:30-11:00; V: 11:00-12:30
	J	10:30 – 12:30		

(2.5 h no pres.): Horas de tutoría no presenciales a través de correo, campus virtual, ...

Grupo	Horarios de laboratorio			Profesor
	Día	Horas	Lugar	
L1	M	15:00-17:30	Aula de Informática y Lab. de Ingeniería Electrónica de Comunicaciones (03.210.0)	Luis Ángel Tejedor Álvarez (26 h) Por confirmar (13h)
L2	J	15:00-17:30		Luis Ángel Tejedor Álvarez (26 h) Por confirmar (13h)

Resultados del aprendizaje (según Documento de Verificación de la Titulación)
<ul style="list-style-type: none"> Comprensión y dominio de sistemas de transmisión de señales de alta frecuencia: propagación libre, líneas de transmisión y guías de onda. Capacidad para analizar y diseñar antenas lineales, aberturas, y agrupaciones de antenas.

- Comprensión y dominio de la transmisión y absorción de campos electromagnéticos por estructuras multicapa.
- Comprensión de los conceptos básicos de inmunidad y susceptibilidad electromagnética.
- Análisis y diseño de apantallamientos para problemas de compatibilidad electromagnética.
- Destreza en la caracterización de campos EM, componentes y antenas específicos para compatibilidad electromagnética. Conocimiento de la normativa y directivas europeas vigentes en problemas de compatibilidad.

Breve descripción de contenidos

Terminología, Normativa y requisitos de la UE en Compatibilidad Electromagnética. Campos de radiación: Aproximaciones. Transmisión y absorción del campo electromagnético. Diseño de absorbentes. Interferencias radiadas. Interferencias conducidas y transitorias. Apantallamiento del campo electromagnético. Diseño de filtros de alta frecuencia. Medidas de compatibilidad electromagnética y figura de ruido.

Conocimientos previos necesarios

Electromagnetismo. Análisis de Circuitos. Circuitos de Alta Frecuencia.

Programa de la asignatura

1. **Filtros:** Diseño de filtros clásico. Prototipos paso bajo. Transformaciones de frecuencias. Síntesis con secciones cortas de línea. Transformación de Richards. Identidades de Kuroda. Síntesis con resonadores e inversores de admitancias e impedancias. Filtros de líneas acopladas. Efecto de las pérdidas.
2. **Introducción y terminología:** Elementos de un problema de CEM. Límites de emisión, susceptibilidad y compatibilidad. Fuentes y tipos de interferencias. Características. Normativas y reglamentos. Organismos de normalización.
3. **Ecuaciones de Maxwell:** Ecuaciones, relaciones constitutivas, ecuación de continuidad. Condiciones de contorno. Ondas planas en diferentes materiales. Flujo de potencia.
4. **Campos de Radiación:** Potenciales retardados. Ecuaciones de onda. Campos radiados por un elemento de corriente y por una antena. Campo lejano. Polarización.
5. **Parámetros Básicos de Radiación:** La antena como elemento circuital. Diagrama de radiación. Intensidad de radiación. Directividad y ganancia. PIRE. Área Equivalente de antena. Fórmula de Friis. Ruido captado por una antena.
6. **Transmisión y Absorción del campo EM. Apantallamientos:** Reflexión, transmisión y absorción en conductores y dieléctricos. Transformación de la impedancia de onda. Ventanas dieléctricas. Estructuras multicapas. Apantallamientos. Absorbentes.
7. **Acoplo Inductivo y Capacitivo. Diafonía:** Acoplo inductivo y capacitivo. Inductancia y capacidad mutua. Diafonía: paradiafonía y telediafonía. Forma de onda de la diafonía. Modos par e impar. Impedancias y tiempos de propagación de los modos par e impar. Cable coaxial: Impedancia de transferencia. Diafonía en la red telefónica. ADSL. Cableado estructurado.
8. **Interferencias Conducidas:** Camino de retorno, masa y tierra. Fuentes de ruido e interferencias conducidas. Red trifásica. Norma EN 55022. Interferencias en modo

común y modo diferencial. Medidas de interferencias conducidas. LISN. Transitorios en líneas de transmisión. Tecnología PLC.

9. **Descargas Electroestáticas y Rayos:** Electricidad estática. Modelo de cuerpo humano (HBM). Test de sensibilidad contra ESD. Medidas de protección. Diseño electrónico anti-ESD. Rayos: generación y tipos. Protección frente a rayos. Estándar EN/IEC 62305. Pararrayos. Dispositivos de protección: Diodos TVS. Niveles y zonas de protección.
10. **Ruido e interferencias en Sistemas de Telecomunicaciones:** Relación señal a ruido en comunicaciones analógicas y digitales. Efecto de los códigos de corrección de errores. Técnicas de protección electrónica: Expansión espectral por secuencia directa (DSSS) y por salto de frecuencia (FHSS). Bloqueo de señales analógicas y digitales. Bloqueo con seguimiento. Radar.
11. **Efectos Biológicos de los Campos Electromagnéticos:** Radiaciones ionizantes y radiaciones electromagnéticas. El Proyecto Internacional CEM de la OMS. Efectos biológicos y efectos sobre la salud. Efectos sobre el embarazo, cataratas, cáncer, hipersensibilidad. Interpretación de estudios epidemiológicos. Estudios con muestras. Correlación y causalidad. Límites ICNIRP.

Breve descripción de las prácticas a realizar:

1. **Simulación de una antena de bocina.** Familiarización con el simulador electromagnético 3D Ansys HFSS. Modelado paramétrico. Definición de puertos y condiciones de contorno para simular campos de radiación. Representación de diagramas de radiación.
2. **Simulación de apantallamientos.** Exportación e importación de modelos en HFSS. Definición de materiales. Representación y exportación de parámetros S. Efecto de los diferentes materiales en el apantallamiento.
3. **Medidas de ruido con medidor de figura de ruido y analizador de espectros.**
4. **Caracterización de Interferencias.** Identificación y caracterización de las principales interferencias en el espectro electromagnético. Efecto de la directividad.
5. **Medidas de coeficientes de reflexión de diversos materiales.** Caracterización de pantallas y absorbentes.
6. **Transitorios en líneas de Transmisión.** Estudio de transitorios en cables. Medida de la velocidad de propagación. Caracterización de cables con el analizador vectorial de redes.
7. **Diseño, fabricación y caracterización de líneas microstrip. Medidas de Diafonía.** Diseño y fabricación de líneas microstrip mediante fotolitografía. Caracterización de líneas microstrip con el analizador vectorial de redes. Estudio de la diafonía entre 2 líneas adyacentes en diferentes condiciones.
8. **Medida de Interferencias Conducidas.** Medida del nivel de interferencias conducidas introducidas en la red eléctrica por diferentes aparatos mediante una LISN y un analizador de espectros. Norma EN 55022.

Bibliografía ordenada alfabéticamente

- A. Cardama, L. Jofre, J.M. Rius, J. Romeu, S. Blanch, M. Ferrando, "Antenas", Edicions UPC, 2002.
- Robert E. Collin, "Antenas and Radiowave Propagation", McGraw Hill, 1985.
- R.Smolenski, "Conducted EMI in Smart Grids", Springer, 2012
- H.W. Ott, "Electromagnetic Compatibility Engineering", John Wiley & Sons, 2009.
- D.A. Weston, "Electromagnetic Compatibility. Principles and Applications", Marcel Dekker Inc., 2ª Ed., 2001.
- T. Williams, "EMC for product designers", Elsevier, 2017

- V. Prasad Kodali, "*Engineering Electromagnetic Compatibility*", IEE Press Marketing, 2ª Ed., 2001.
- José L. Sebastián, "*Fundamentos de Compatibilidad Electromagnética*", Addison Wesley, 1999.
- R. P. Clayton, "*Introduction to Electromagnetic Compatibility*", Willey Inter-Science, 2ª Ed., 2006.
- Richard Posel, "*Modern Communications Jamming Principles and Techniques*", Artech House, 2011

Recursos en internet

En Campus Virtual de la UCM: <http://www.ucm.es/campusvirtual>
 Software de simulación Amanogawa: <http://www.amanogawa.com/>
 Proyecto CEM de la OMS: <https://www.who.int/initiatives/the-international-emf-project>
 Canal de Youtube UCM-ELEC Group: <https://www.youtube.com/@ucm-elecgroup230/featured>

Metodología

El trabajo desarrollado durante el curso se estructurará de la siguiente manera:

- Lecciones teóricas, en las cuales se explicará el contenido de la materia, incluyendo aplicaciones y ejemplos. Se destacarán los conceptos que los estudiantes necesitan para la ejecución de la parte práctica de la asignatura.
- Resolución de ejercicios, para mejor comprensión de los conceptos desarrollados en la parte teórica.
- Sesiones de simulación, con Ansys HFSS en las que los estudiantes aprenderán a utilizar un simulador electromagnético 3D comercial, capaz de modelar y simular los fenómenos descritos en la parte teórica. Estas sesiones se realizarán de forma individual.
- Sesiones prácticas, por parejas, en las cuales los estudiantes trabajarán con instrumentación de laboratorio bajo la supervisión del profesor.
- Si es posible, se visitarán centros en los que se realizan ensayos de Compatibilidad Electromagnética y/o medidas de antenas.
- Se emplearán los foros de Moodle para aprendizaje y discusión.
- Tutorías individualizadas para la resolución de dudas.

Evaluación

Realización de exámenes (E_{Final})

Peso: 55 %

Se realizará un examen final, que consistirá en una parte de teoría (cuestiones tipo test) y una parte de problemas similares a los resueltos en clase.

No se permitirá el uso de apuntes ni libros. En la parte de problemas, el profesor proporcionará aquellas fórmulas y expresiones que considere necesarias.

Diseño de Filtros (F)

Peso: 10 %

Al terminar el tema 1, cada estudiante entregará 4 diseños de filtros asignados de forma personalizada:

- Un filtro paso bajo con secciones cortas de línea de transmisión
- Un filtro paso bajo con líneas y *stubs*

<ul style="list-style-type: none"> - Un paso banda o banda eliminada con líneas y <i>stubs</i> - Un paso banda con líneas acopladas paralelas 		
Otras actividades (A)	Peso:	5 %
<ul style="list-style-type: none"> • A: Asistencia, participación y resolución de problemas en clase. 		
Prácticas (P)	Peso:	30 %
<ul style="list-style-type: none"> • P: Asistencia, actitud y otras habilidades demostradas a lo largo del curso en las sesiones de laboratorio y calidad de los informes presentados de cada práctica. La asistencia a las sesiones de laboratorio será obligatoria. Como norma general, no se conservará la calificación del laboratorio de un curso para otro. 		
Calificación final		
<p>Si la nota del examen final es superior a 4, la calificación final será</p> $C_{Final} = 0,55 \cdot E_{Final} + 0,1 \cdot F + 0,05 \cdot A + 0,3 \cdot P$ <p>Por el contrario, si la nota del examen final es inferior a 4, se tomará como calificación final la nota del examen, dando lugar a un suspenso.</p> <p>Para optar a Matrícula de Honor será imprescindible obtener una puntuación superior a 9 en C_{final}.</p> <p>La calificación de la convocatoria extraordinaria se obtendrá siguiendo exactamente el mismo procedimiento de evaluación.</p> <p>Las calificaciones del diseño de filtros, las prácticas y la participación en clase se guardan para la convocatoria extraordinaria. Excepcionalmente se habilitarán periodos extraordinarios de recuperación de prácticas y entregas de informes.</p>		