



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
Código: 18495  
Centro: Escuela Politécnica Superior  
Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
Nº de créditos: 6 ECTS

## **GUÍA DOCENTE DE ANTENAS Y COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNETICA (ACEM)**

La presente guía docente corresponde a la asignatura Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM), a aprobar para el curso lectivo 2017-2018 en Junta de Centro y publicada en su versión definitiva en la página web de la Escuela Politécnica Superior. La guía docente de ACEM aprobada y publicada antes del periodo de matrícula tiene el carácter de contrato con el estudiante.



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
Código: 18495  
Centro: Escuela Politécnica Superior  
Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
Nº de créditos: 6 ECTS

## ASIGNATURA

### ANTENAS Y COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNETICA (ACEM)

#### 1.1. Código

18495 del Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación

#### 1.2. Materia

Sistemas Electrónicos

#### 1.3. Tipo

Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos (obligatoria para los que sigan el itinerario en Sistemas Electrónicos; optativa para el resto)

#### 1.4. Nivel

Grado

#### 1.5. Curso

4º

#### 1.6. Semestre

2º

#### 1.7. Número de créditos

6 créditos ECTS

#### 1.8. Requisitos previos

Antenas y Compatibilidad Electromagnéticas (ACEM) forma parte del Módulo 3 “Formación de Tecnología Específica” en la Materia 3.1 “Sistemas Electrónicos” del plan de estudios del Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación.

Esta materia está compuesta por un total de ocho asignaturas que tienen todas ellas carácter obligatorio para el itinerario que habilita para ejercer la profesión de Ingeniero Técnico de Telecomunicación en la especialidad de Sistemas Electrónicos.



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
Código: 18495  
Centro: Escuela Politécnica Superior  
Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
Nº de créditos: 6 ECTS

El listado completo de asignaturas de la materia (indicando año y semestre en el que se oferta) es:

- Dispositivos Integrados Especializados, (3/1)
- Sistemas de Control, (3/1)
- Sistemas Electrónicos Digitales, (3/2)
- Electrónica de Comunicaciones, (3/2),
- Instrumentación y Medida, (4/1),
- Tecnología Electrónica de Sistemas, (4/1),
- **Antenas y Compatibilidad Electromagnética, (4/2),**
- Aritmética para Procesamiento de Señal, (4/2).

Así mismo, la asignatura de Antenas y Compatibilidad Electromagnéticas (ACEM) forma parte del conjunto de asignaturas que conforman el Perfil de Diseño e Implementación de Sistemas Electrónicos para Comunicaciones (DISEC). Es optativa para el resto de los itinerarios y perfiles.

Para cursar el perfil DISEC, hay que hacer todas las asignaturas de la materia 3.1 Sistemas Electrónicos y las asignaturas Medios de Transmisión, (3/1) Sistemas de Transmisión para Audio y Video (3/2) y Tratamiento de Señales Multimedia (3/2).

En concreto en la asignatura de Antenas y Compatibilidad Electromagnéticas (ACEM) se presentan el concepto y tipo de interferencias según el medio por el que se propagan. Ello permitirá conocer el concepto de compatibilidad electromagnética. Se analizarán las diversas fuentes de interferencia, aunque se hará especial hincapié en las interferencias radiadas mediante el estudio de los dispositivos que las generan: las antenas. Se expondrán los métodos más adecuados para disminuir los efectos de todo tipo de interferencias asegurando una correcta compatibilidad electromagnética entre los distintos sistemas involucrados.

A continuación se van a detallar de manera más pormenorizada aquellos conocimientos previos necesarios para el seguimiento de la presente asignatura, indicándose las materias y asignaturas en las que se han desarrollado. Se resaltan en color rojo las asignaturas más relacionadas con ACEM:

#### Conceptos previos en Materias y Asignaturas del Módulo de Formación Básicas:

- **Materia 1.1. Matemáticas.** Es necesario que el alumno tenga soltura en el manejo de herramientas matemáticas básicas: operativa con números complejos, cálculo vectorial, integración y derivación, funciones trigonométricas y exponenciales complejas. Estos temas se han introducido en las asignaturas Álgebra Lineal (1º, 1er Semestre), Análisis Matemático I (1º, 1er Semestre) y Análisis Matemático II (1º, 2er Semestre)
- **Materia 1.2. Física.** Los conceptos de electromagnetismo básico, tales como definición de campo eléctrico y magnético, inducción de campo eléctrico y magnético e interacción capacitiva e inductiva son tratados en la asignatura Física



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
Código: 18495  
Centro: Escuela Politécnica Superior  
Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
Nº de créditos: 6 ECTS

General (1º, 1er Semestre). Estos conceptos son necesarios para entender el mecanismo de interferencia radiada en zonas muy próximas.

- **Materia 1.5. Circuitos y Sistemas.** La correcta caracterización de los componentes discretos (resistencias, bobinas y condensadores) según su banda de operación y el conocimiento de los efectos en régimen transitorio de los mismos, son aspectos importantes para prevenir problemas de interferencias no deseadas en dispositivos electrónicos. Así mismo, el correcto manejo de teoremas circuitales como el equivalente Thévenin o el concepto de fasor en régimen sinusoidal se hacen necesarios en la asignatura de Antenas y Compatibilidad Electromagnética. Todos estos elementos son tratados en la asignatura Análisis de Circuitos (1º, 2º Semestre).

Conceptos previos en Materias y Asignaturas del Módulo de Formación Común a la Rama de Telecomunicaciones:

- **Materia 2.1. Circuitos Electrónicos y Microprocesadores.** El alumno debe conocer los aspectos eléctricos relacionados con el diseño de circuitos tanto analógicos como digitales para entender los mecanismos que interfieren los mismos, tratados en las asignaturas Circuitos Electrónicos Digitales (1º, 1er Semestre) y Circuitos Analógicos y de Potencia (2º, 1er Semestre). Todos estos elementos son la base de baja frecuencia que posteriormente se tratarán en circuitos de radiofrecuencia, y que aplican para el análisis electromagnético.
- **Materia 2.3. Tratamiento de Señal en Comunicaciones.** El diseño de filtros es uno de los elementos importantes para la prevención de efectos no deseados de interferencias y por tanto para evitar problemas de compatibilidad electromagnética. En este sentido se requiere que el alumno esté familiarizado con las teorías clásicas de diseño de filtros vistas en la asignatura Diseño de Filtros (2º, 2º Semestre). Dichas técnicas se verán reflejadas en dispositivos concretos posteriormente en la asignatura Electrónica de Comunicaciones.
- **Materia 2.4. Sistemas de Transmisión.** Se requiere del alumno que conozca y aplique correctamente los conceptos de electromagnetismo y resolución de ecuaciones de Maxwell aplicadas a distintos entornos de propagación vistos en la asignatura de **Fundamentos de Transmisión y Propagación de Ondas** (2º, 2º Semestre). Conceptos como la propagación por onda plana, impedancia de onda, coeficiente de reflexión de la onda, serán necesarios para la presente asignatura. El alumno deberá utilizar de manera fluida operadores vectoriales, tales como divergencia, rotacional, gradiente, flujo a través de superficies cerradas, ley de Ampere, Ley de Gauss. Así mismo, los conceptos básicos de radiación son introducidos en esta asignatura.

Conceptos previos en Materias y Asignaturas del Módulo de Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos:

- **Materia 3.1. Sistemas Electrónicos.** Uno de los elementos más importantes en compatibilidad reside en el tipo de encapsulados de los dispositivos a proteger. Así mismo, el diseño y fabricación de los circuitos impresos, tanto para dispositivos



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
Código: 18495  
Centro: Escuela Politécnica Superior  
Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
Nº de créditos: 6 ECTS

digitales como analógicos, requieren diversas técnicas que permiten minimizar los efectos perturbadores recibidos y emitidos hacia el entorno que rodea el dispositivo en estudio. En este sentido, en la asignatura Tecnología Electrónica de Sistemas (4º, 1er Semestre) se estudian estos conceptos y técnicas que permiten mejorar la integridad de la señal en los dispositivos electrónicos.

En la asignatura **Electrónica de Comunicaciones** (3º, 2º Semestre) se profundiza en el efecto que tiene la distorsión y el ruido en comunicaciones. Igualmente, se requiere por parte del estudiante el dominio de las características de funcionamiento de los dispositivos y componentes electrónicos de radiofrecuencia típicos en sistemas transmisores (fuente interferente) y receptores (posible víctima interferida), tales como, osciladores, mezcladores y conversores de frecuencia, amplificadores y filtros pasivos.

#### Conceptos previos en Materias y Asignaturas del Módulo de Asignaturas Optativas:

- **Materia 4.1. Sistemas de Telecomunicación.** Es muy recomendable que el alumno haya cursado previamente las asignaturas **Medios de Transmisión** (3º, 1er Semestre) y **Sistemas de Transmisión de Audio y Video** (3º, 2º Semestre), ambas necesarias para obtener el Perfil de Diseño e Implementación de Sistemas Electrónicos para Comunicaciones (DISEC). En la primera de ellas el alumno habrá adquirido algunos conceptos muy importantes en la caracterización de antenas, tales como, ondas de potencia, parámetros S, utilización de la Carta de Smith en la adaptación de impedancias en circuitos. De igual modo, cursando esta asignatura el alumno tendrá el conocimiento sobre los fundamentos de algunos soportes de transmisión de señal tales como el cable coaxial, la línea microstrip (básica para el entendimiento de los circuitos impresos), la guía de onda o la fibra óptica. En la segunda asignatura recomendada el alumno tendrá una visión “de conjunto” de los sistemas de comunicaciones radio. En la misma se presentan los modelos de propagación radio por los que se fundamentan las interferencias radiadas según los distintos entornos radioeléctricos y sistemas de comunicaciones (aplicados a señales de banda ancha de audio y video).
- **Materia 4.4. Matemáticas.** La asignatura Métodos matemáticos de la ingeniería (3º, 1er Semestre) puede aportar técnicas de resolución de problemas que son de directa aplicación en la simulación de sistemas radiantes.

#### Conexión con otros itinerarios y perfiles

Esta asignatura se oferta en el último semestre del último curso del Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación del itinerario en Sistemas Electrónicos, y constituye el último eslabón de las tecnologías de radiofrecuencia y electromagnetismo. Sin embargo, puede ser cursada como asignatura optativa en el itinerario de Sonido e Imagen. Esto permitiría conocer técnicas de compatibilidad y reducción de interferencias aplicables también a estos sistemas de banda ancha. Hay que tener en cuenta que las emisiones radiadas y conducidas no solo afectan a alta frecuencias, sino también a bajas frecuencias (diafonía de cables en entorno de audio y video). En este sentido las técnicas de apantallamiento y filtrado que en ACEM se presentan permiten reducir problemas de acoplamiento en señales audio y



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
Código: 18495  
Centro: Escuela Politécnica Superior  
Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
Nº de créditos: 6 ECTS

video que dan lugar a efectos indeseados. Así mismo, las transmisiones radio de señales de televisión pueden verse perturbadas por las mismas perturbaciones indeseadas, y requieren el correcto diseño de las antenas y demás elementos implicados.

## 1.9. Requisitos mínimos de asistencia a las sesiones presenciales

La asistencia a las sesiones de teoría se considera de especial utilidad para la consecución de los objetivos previstos en la asignatura (ver apartado 1.11) y para participar en las pruebas de evaluación continua programadas (ver apartado 5).

Debido al carácter eminentemente práctico de esta asignatura (el peso del laboratorio es el 50 % de la nota final), la asistencia a las clases de laboratorio son obligatorias. Solo se permitirá por causa justificada hasta a dos sesiones de laboratorio. La tercera falta justificada o la primera falta injustificada (salvo que sea debidamente documentada al profesor y éste considere que dicha falta se ha producido por causa de fuerza mayor) supone la calificación de NO APTO en la evaluación continua de la convocatoria ordinaria de prácticas, lo cual se traduce en la no superación de la asignatura. Como las clases de laboratorio no son prácticas guiadas, sino que se trata de diseños continuados de sistemas radiantes NO existe la posibilidad de recuperar sesiones.

## 1.10. Datos del equipo docente

Nota: se debe añadir @uam.es a todas las direcciones de correo electrónico.

### Profesor de teoría y laboratorio:

**Dr. José Luis Masa Campos** (Coordinador)  
Departamento de Tecnología Electrónica y de las Comunicaciones  
Escuela Politécnica Superior  
Despacho - Módulo: C-216 Edificio C - 2ª Planta  
Teléfono: +34 914976202  
Correo electrónico: joseluis.masa  
Página web: <http://rfcas.eps.uam.es/web/?q=user/41>  
Horario de atención al alumnado: Petición de cita previa por correo electrónico.



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
Código: 18495  
Centro: Escuela Politécnica Superior  
Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
Nº de créditos: 6 ECTS

## 1.11. Objetivos del curso

El objetivo más global de la asignatura ACEM es la de que el alumno comprenda los mecanismos de interferencias en un sistema de comunicaciones, así como, de compatibilidad electromagnética (CEM) entre dispositivos electrónicos. Para ello, se pretende que el alumno sea capaz de identificar y clasificar las distintas fuentes interferentes que provocan estos efectos indeseados y que utilice las técnicas de cancelación para una adecuada integridad de señal en el sistema de comunicación entre dispositivos. De manera algo más focalizada se marca como un objetivo prioritario que el alumno comprenda e identifique los distintos tipos de fuentes de radiación (antenas) y el que use las principales técnicas de diseño para el cumplimiento de los requisitos electromagnéticos básicos, así como que utilice los métodos de análisis de antenas en función de los diferentes parámetros que las caracterizan: impedancia, polarización, ancho de banda, diagrama de radiación. ACEM también permitirá al alumno ser capaz de distinguir y comprender el funcionamiento de los distintos sistemas de medida de compatibilidad electromagnética según la aplicación última del dispositivo a caracterizar, sin olvidar los aspectos normativos que garanticen la correcta inmunidad ante fenómenos CEM.

Para este fin, ACEM se nutrirá de conceptos previos de electromagnetismo pero aplicados a radiación tales como, propagación de onda esférica, distancia de campo próximo, distancia de campo lejano, onda plana, flujo de energía o adaptación de impedancias como instrumento de cancelación de interferencias. El alumno será capaz de deducir, interpretar y aplicar las ecuaciones electromagnéticas básicas a estructuras concretas de radiación. De igual modo, se utilizarán conceptos de filtrado, apantallamiento, caracterización de componentes electrónicos, análisis de los principales medios de transmisión por soporte físico tales como: cable coaxial, guía de onda y línea impresa (esta última fundamental en todo dispositivo electrónico y también en gran parte de antenas de usuario y estación base de sistemas de comunicaciones) para su correcta implementación sin causar efectos CEM.

Más específicamente, la línea argumental de la asignatura puede agruparse en 4 bloques:

### **Bloque 1: Introducción a la compatibilidad electromagnética.**

Este bloque lo constituye el tema 1. Se parte del esquema del ciclo básico de la compatibilidad electromagnética. En dicho ciclo se describe cómo las fuentes o perturbadores provocan un funcionamiento indeseado del dispositivo víctima. Este efecto se da como consecuencia del acoplamiento (conducido o radiado) de la perturbación por propagación a través de los diferentes caminos físicos que la unen a la víctima. Seguidamente se esbozan las vías de acoplamiento radiado (dependiendo de la distancia entre víctima y fuente interferente), y de acoplamiento conducido (impedancia común, capacidad parásita o acoplamiento a través de la red eléctrica).



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
Código: 18495  
Centro: Escuela Politécnica Superior  
Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
Nº de créditos: 6 ECTS

## **Bloque 2: Estudio de las fuentes de acoplamiento radiado (antenas) y del apantallamiento como técnica de reducción de sus efectos**

En este bloque, tomando como base el ciclo básico de la compatibilidad electromagnética, se estudian las fuentes de acoplamiento radiado, es decir, las antenas. Esto se lleva a cabo en los temas 2,3,4,5,6. En el tema 2 se presentan conceptos básicos de antenas tales como los fundamentos de radiación, las diferentes zonas de radiación, parámetros fundamentales de una antena (impedancia, polarización, diagrama de radiación, ganancia o figura de ruido). Seguidamente, en el tema 3 se presentan las ecuaciones y parámetros de diseño de las antenas lineales e impresas, que son las más comunes en los sistemas de comunicaciones hoy en día. En el tema 4 se establecerán los fundamentos de las agrupaciones de antenas, las cuales permiten conformar el diagrama de radiación para reducir el nivel de interferencias sobre otros sistemas, favoreciendo una dirección espacial deseada. Conceptos como el acoplamiento mutuo entre antenas, y los efectos indeseados que dicha interacción provocan sobre la agrupación son analizados. En el tema 5 se presentan los parámetros de diseño básicos para las antenas de apertura más utilizadas en comunicaciones por satélite, es decir, las antenas de bocina y antenas reflectoras. Una vez presentados los principios de funcionamiento de las fuentes interferentes, en el tema 6 se analizan los distintos modos de acoplamiento radiados en función de la distancia entre las antenas, y el tipo de campo dominante. Se estudiará el sistema de reducción de interferencia radiada más efectivo, es decir, el apantallamiento.

## **Bloque 3: Estudio de las fuentes de acoplamiento conducido y técnicas para su reducción.**

En este tercer bloque al que pertenece el tema 7, se analizan los mecanismos por los que se produce el acoplamiento conducido tales como los lazos de masa, impedancia en modo común en el camino de masa, transitorios indeseados, acoplamiento en modo común y diferencial. Se presentan las técnicas fundamentales para su reducción o eliminación, entre las que destacan los condensadores de desacoplo, introducción de filtrado, puestas a masa y tierra, estrategias de rutado en circuitos impresos. También se tratan aspectos normativos sobre compatibilidad electromagnética referentes a las perturbaciones en sistemas con diversos tipos de cables en su configuración.

## **Bloque 4: Estudio de los sistemas de medida de antenas y compatibilidad electromagnética.**

Este último tema presenta al alumno los diferentes sistemas de caracterización de radiación de antenas y de medida de interferencias de dispositivos en entornos CEM. Dentro de los sistemas a estudiar se encuentran: cámara anecoica de antenas y para medidas CEM, jaula de Faraday para medidas CEM y proceso de caracterización de radiación electromagnética en entornos abiertos (tomando como ejemplo principal la caracterización de radiación emitida por estaciones base de telefonía móvil).



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
Código: 18495  
Centro: Escuela Politécnica Superior  
Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
Nº de créditos: 6 ECTS

Paralelamente al desarrollo de la asignatura e integradas con las actividades en el aula, se realizarán catorce sesiones en el laboratorio. Con ellas se pretende apoyar los conceptos vistos en teoría. Se utilizará la metodología de aprendizaje por proyecto, que tiene como objetivo general que el alumno traslade la teoría a la ingeniería aplicada bajo el marco de unas especificaciones finales. Más concretamente los objetivos de las sesiones prácticas son que el alumno, al final del curso, haya sido capaz de realizar las siguientes tareas:

- Aplicación de los conceptos y técnicas de diseño de antenas a casos reales
- Utilización de software comercial de diseño, análisis electromagnético y de implementación de circuitos impresos.
- Diseño construcción y medida de distintos tipos de antenas, incluyendo sus redes de alimentación
- Construcción de los diseños por parte de los alumnos gracias a la utilización del Taller de Circuitos Impresos de la Escuela Politécnica Superior (EPS)
- Medidas de sus parámetros circuitales con la utilización de un analizador vectorial de redes.
- Medida del diagrama de radiación de sus diseños en el Sistema Esférico de la Cámara Anecoica de la EPS, para verificar la adecuación del sistema radiante a sus especificaciones de radiación electromagnética.

Las competencias básicas que se pretenden adquirir con esta asignatura son:

“**DD1:** Que los estudiantes hayan demostrado poseer y comprender conocimientos en el ámbito de la ingeniería de tecnologías y servicios de telecomunicación, que parte de la base de la educación secundaria general, y se suele encontrar a un nivel que, si bien se apoya en libros de texto avanzados, incluye también algunos aspectos que implican conocimientos procedentes de la vanguardia de su campo de estudio.”

“**DD2:** Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro del ámbito de la ingeniería de tecnologías y servicios de telecomunicación.”

“**DD5:** Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía.”

Las competencias generales destinadas a capacitar para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico de Telecomunicación que se pretenden adquirir con esta asignatura son:



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
Código: 18495  
Centro: Escuela Politécnica Superior  
Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
Nº de créditos: 6 ECTS

“ITT3: Conocimiento de materias básicas y tecnologías, que le capacite para el aprendizaje de nuevos métodos y tecnologías, así como que le dote de una gran versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones.”

“ITT5: Conocimientos para la realización de mediciones, cálculos, valoraciones, tasaciones, peritaciones, estudios, informes, planificación de tareas y otros trabajos análogos en su ámbito específico de la telecomunicación.”

La **competencia** de tecnología específica en Sistemas Electrónicos (SE) que se pretenden adquirir con esta asignatura es:

“SE9: Capacidad de analizar y solucionar los problemas de interferencias y compatibilidad electromagnética”

En la siguiente tabla se especifican las competencias que el estudiante adquirirá desglosadas por temas. Al final de cada tema el estudiante deberá ser capaz de:

OBJETIVOS ESPECIFICOS POR TEMA	
<b>TEMA I.- Introducción a la Compatibilidad Electromagnética</b>	
1.1	Definir los conceptos de interferencia (IEM), susceptibilidad (SEM) y compatibilidad electromagnética (CEM).
1.2	Relacionar los conceptos IEM, SEM y CEM dentro del esquema básico de CEM
1.3	Definir los tipos de acoplamiento según el camino de propagación del esquema básico de CEM
1.4	Definir y analizar las diferencias entre los distintos fuentes interferentes
1.5	Enumerar y definir los métodos de cancelación de interferencias según el método de acoplamiento
<b>TEMA II.- Conceptos básicos de antenas (fuentes interferentes radiadas)</b>	
2.1	Extraer la ecuación de onda para radiación del potencial vector magnético y potencial escalar a partir de las ecuaciones de Maxwell
2.2	Resolver la ecuación de onda para la obtención del potencial vector, y con ello extraer las expresiones del campo eléctrico y magnético radiado
2.3	Deducir las expresiones de campo eléctrico y magnético radiado para distancia de campo lejano
2.4	Calcular la red de adaptación de una antena a su generador o receptor
2.5	Identificar el lóbulo principal, lóbulos laterales, nulos, valor del SLL, y ancho de haz del diagrama de radiación de una antena
2.6	Calcular a partir del campo radiado por una antena, la densidad de potencia, la intensidad de radiación, la potencia radiada, directividad, ganancia y eficiencia.
2.7	Deducir a partir de la expresión del campo radiado por una antena, la polarización y el nivel copolar y contrapolar
2.8	Calcular el balance de potencias en un radioenlace
<b>TEMA III.- Antenas lineales e impresas</b>	
3.1	Calcular y representar el diagrama normalizado de una antena lineal a



	partir de la expresión de su corriente
3.2	Calcular el diagrama de radiación de un dipolo eléctrico
3.3	Formular el diagrama normalizado y directividad del dipolo eléctrico $\lambda/2$
3.4	Relacionar mediante la teoría de las imágenes las propiedades del dipolo y el monopolo
3.5	Representar el circuito equivalente de un balun y demostrar con él la simetría de la alimentación de corriente en un dipolo
3.6	Formular el diagrama normalizado y directividad de una antena de cuadro
3.7	Calcular el circuito equivalente de un parche microstrip y obtener la longitud resonante del mismo
3.8	Plantear y resolver la ecuación de onda del modelo en cavidad de un parche microstrip
3.9	Seleccionar y justificar la elección de las distintas formas de alimentación de un parche microstrip, en función del ancho de banda y aplicación
3.10	Seleccionar la estructura de alimentación y forma adecuada para un parche microstrip en función del tipo de polarización y ancho de banda de aplicación
<b>TEMA IV.- Agrupaciones de antenas (arrays)</b>	
4.1.	Calcular la impedancia y coeficiente de reflexión de una antena dentro de una agrupación a partir de la matriz de acoplos S o Z
4.2	Escribir la expresión del factor de array de una agrupación
4.3	Representar el factor de array de una agrupación, identificando la posición de sus nulos y lóbulos secundarios, así como el nivel SLL
4.4	Calcular el desfase progresivo requerido para un determinado apuntamiento angular
4.5	Calcular el margen visible a partir de la función periódica del array
4.6	Formular las fases de alimentación, y valor de ancho de haz de un array broadside y endfire
4.7	Calcular la directividad de un array
4.8	Diseñar la red de alimentación de un array en función de la ley de amplitud y fase requerida minimizando los acoplos mutuos y lazos de masa del circuito
4.9	Calcular el vector de pesos óptimo en una antena adaptativa para eliminar señales interferentes
4.10	Seleccionar los valores adecuados de condensador de desacoplo y bobina de choque de RF en una red de alimentación activa
<b>TEMA V.- Antenas de apertura: bocinas y reflectores</b>	
5.1	Calcular el diagrama radiado a partir de la expresión del campo en la apertura
5.2	Resolver analíticamente el campo radiado, directividad y eficiencia de aperturas uniformes
5.3	Deducir la expresión del campo en la apertura de bocinas plano E, H y sectoriales
5.4	Dimensionar una bocina plano E, H, piramidal o cónica en función del diagrama de radiación normalizado a obtener
5.5	Definir la apertura equivalente de un reflector y sus parámetros



	fundamentales
5.6	Dimensionar el tamaño y distancia focal de un reflector simple en función de la ganancia a obtener y el alimentador a utilizar
5.7	Dimensionar el tamaño y distancia focal, altura y ángulo offset de un reflector simple descentrado en función de la ganancia a obtener, el alimentador a utilizar y la ausencia de bloqueo
5.8	Dimensionar el tamaño y distancia focal de un reflector y su subreflector en un sistema doble (Cassegrain o Gregoriano) en función de la ganancia a obtener y el alimentador a utilizar
<b>TEMA VI.- Apantallamiento - Inmunidad ante acoplo radiado</b>	
6.1	Calcular el coeficiente de onda reflejada y onda transmitida en una pantalla metálica de un determinado espesor
6.2	Calcular el coeficiente de apantallamiento a partir de los de reflexión y transmisión
6.3	Particularizar el cálculo de las pérdidas por reflexión sobre una pantalla metálica a distancias en campo cercano, y predominio de campo E o de campo H
6.4	Calcular la tensión inducida por acoplo capacitivo entre dos hilos metálicos sobre un plano conductor muy próximo
6.5	Calcular la disminución en tensión inducida por acoplo capacitivo con apantallamiento de uno de los hilos conductores
6.6	Particularizar los modelos de acoplo capacitivo a otras estructuras conductoras: tiras conductoras planas, cable coaxial, placas paralelas
6.7	Calcular la tensión inducida por acoplo inductivo entre dos hilos metálicos sobre un plano conductor muy próximo con y sin apantallamiento. Particularizar
6.8	Seleccionar el método de puesta a masa del apantallamiento más adecuado según el tipo de diafonía
<b>TEMA VII.- Acoplamiento conducido. Fuentes y métodos de cancelación</b>	
7.1	Calcular la corriente y tensión conducida por la línea de masa según su valor de impedancia residual
7.2	Definir los conceptos de tierra y masa de un circuito señalando sus diferencias
7.3	Seleccionar el método de unión de masas de varios circuitos más adecuado según la frecuencia de aplicación y la naturaleza de los sistemas a integrar
7.4	Establecer las diferencias entre el acoplamiento en modo diferencial DM y en modo común CM
7.5	A partir del circuito equivalente de un transformador analizar la transferencia de señal en los modos: CM-CM, DM-CM y CM-DM
7.6	Seleccionar el cable más adecuado para evitar interferencias conducidas según el rango de frecuencia de utilización
7.7	Clasificar los cables según su aplicación atendiendo a la normativa BS IEC 61000-5-2
7.8	Calcular la tensión de carga en régimen transitorio de un circuito al accionar un interruptor
7.9	Diseñar la topología y calcular los parámetros de un filtro para eliminar



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
Código: 18495  
Centro: Escuela Politécnica Superior  
Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
Nº de créditos: 6 ECTS

	interferencias CEM
<b>TEMA VIII.- Sistemas de medida de antenas y CEM</b>	
8.1	Enumerar el instrumental y topología necesario para implementar un sistema de campo abierto de medida de antenas
8.2	Enumerar los elementos diferenciadores de una cámara anecoica respecto a un sistema abierto
8.3	Describir las diferencias esenciales al realizar una medida de caracterización de antenas frente a una medida de interferencias radiadas producida por un dispositivo dentro de una cámara anecoica
8.4	Indicar las diferencias en el procesado de datos de una medida en zona de campo lejano y campo cercano de la fuente interferente radiada
8.5	Describir de manera sencilla las tres fases de medida de emisiones radioeléctricas de estación base según normativa vigente

## 1.12. Contenidos del programa

### Programa Sintético

PARTE I: INTRODUCCIÓN A LA COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNETICA.

PARTE II: ACOPLAMIENTO RADIADO: FUENTES DE RADIACIÓN (ANTENAS) Y APANTALLAMIENTO

PARTE III: ACOPLAMIENTO CONDUCTIDO: FUENTES Y MÉTODOS DE CANCELACIÓN

PARTE IV: SISTEMAS DE MEDIDA DE ANTENAS Y COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA

### Programa Detallado

#### I. Introducción a la Compatibilidad Electromagnética. (1h)

1. Definición de interferencia (IEM), susceptibilidad (SEM) y compatibilidad electromagnética (CEM).
2. Esquema básico de CEM.
3. Tipos de acoplamiento en función del camino de propagación.
  - i. Acoplamiento radiado
  - ii. Acoplamiento conducido
4. Tipos de fuentes de interferencia
  - i. Fuentes radiadas
  - ii. Fuentes conducidas
  - iii. Deficiente caracterización eléctrica de componentes discretos



5. Enumeración de los principales métodos de disminución de SEM frente interferencias

## II. Conceptos básicos de antenas - fuentes interferentes radiadas (6h)

1. Concepto de antena. Tipos de antenas.
2. Fundamentos de radiación
  - i. Resolución de las ecuaciones de Maxwell aplicadas a radiación
  - ii. Regiones en el campo radiado por una antena: campo próximo reactivo, campo próximo radiante, campo lejano
3. Parámetros básicos de una antena
  - i. Impedancia de entrada y coeficiente de reflexión
  - ii. Adaptación de impedancias entre antena y transceptor
  - iii. Caracterización con parámetros S
  - iv. Ancho de banda
  - v. Diagrama de radiación
  - vi. Directividad, Ganancia y Eficiencia
  - vii. Polarización
4. Teorema de reciprocidad en antenas
5. La antena en recepción: Area equivalente de antena
6. Temperatura equivalente de ruido en la antena. Fórmula de Friss

## III. Antenas lineales e impresas (8h)

1. Concepto de antena lineal
2. Estudio del dipolo eléctricamente corto.
3. Estudio del dipolo eléctrico (Principal fuente interferente de campo radiado próximo tipo capacitivo).
4. Teorema de las imágenes en antenas: monopolo vertical y dipolo horizontal sobre plano reflector metálico. Concepto de balun
5. Estudio de la antena de cuadro (Principal fuente interferente de campo radiado próximo tipo inductivo).
6. Estudio de la antena en hélice.
7. Estudio de la antena de parche impreso (Principal fuente interferente en sistemas de comunicaciones móviles)
  - i. Modelo de línea de transmisión
  - ii. Modelo de cavidad resonante
  - iii. Formas de alimentación
  - iv. Polarización dual lineal y circular en antenas de parche

## IV. Agrupaciones de antenas (arrays). (9h)

1. Concepto y tipos de arrays.
2. Acoplamiento mutuo entre antenas. Modelo con parámetros Z y parámetros S.
3. Principio de multiplicación de diagramas.
4. Arrays lineales equiespaciados tipo broadside, endfire y de exploración.
5. La antena yagi como ejemplo de array lineal
6. Arrays reticulares.



7. Introducción básica a arrays adaptativos para cancelación de interferencias.
8. Redes de alimentación. Acoplamiento mutuo en redes impresas
9. CEM en el diseño de PCBs
10. Condensadores de desacoplo y bobina de choque de RF

#### V. Antenas de apertura: bocinas y reflectores. (8h)

1. Concepto de antena de apertura.
2. Principio de equivalencia y obtención de campos en la apertura.
3. Estudio de las antenas de bocina rectangulares: Plano E, H, piramidales y corrugadas.
4. Estudio de las antenas de bocina cónicas.
5. Concepto de antena reflectora.
6. Estudio de la antena reflectora parabólica simple: centrada y descentrada.
7. Estudio de la antena reflectora parabólica doble: sistemas Cassegrain y Gregoriano.

#### VI. Apantallamiento - Inmunidad ante acoplo radiado. (4h)

1. Inmunidad ante interferencias radiadas: Principio electromagnético de apantallamiento
2. Acoplamiento radiado en campo próximo
  - i. Acoplamiento capacitivo - Efecto del apantallamiento
  - ii. Acoplamiento inductivo - Efecto del apantallamiento
  - iii. Diafonía

#### VII. Acoplamiento conducido. Fuentes y métodos de cancelación. (5h)

1. Acoplamiento conducido por impedancia común.
  - i. Diferencias entre puesta a masa y tierra de un circuito
  - ii. Adecuada puesta a masa: masas centralizadas, distribuidas e híbridas
2. Interferencias conducidas en modo diferencial DM y en modo común CM
3. Transformadores: CM-CM, DM-DM, CM-DM y de aislamiento
4. CEM en cables - Normativa BS IEC 61000-5-2
5. CEM por transitorios de conmutación en circuitos
6. Filtrado como método de cancelación de interferencias

#### VIII. Sistemas de medida de antenas y CEM.(1h)

1. Sistema abierto de medida de antenas en campo lejano
  2. Cámara anecoica
    - i. Medidas de CEM, SEM y IEM
    - ii. Medida de antenas: Campo lejano y campo cercano.
- Ejemplo de medida CEM: Medida de emisiones radioeléctricas procedentes de antenas de estación base de telefonía móvil.



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
Código: 18495  
Centro: Escuela Politécnica Superior  
Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
Nº de créditos: 6 ECTS

## 1.13. Referencias de consulta

### Material de la asignatura:

Los documentos de trabajo que se vayan generando durante el curso (apuntes de cada tema, ejercicios, enunciados de exámenes, simulaciones de ordenador, soluciones de problemas, recomendaciones de estudio, ...) se pondrán a disposición de los estudiantes en formato electrónico y sin coste, a través de la página moodle de la asignatura. Se destaca que siguiendo la política de asignaturas de cursos anteriores relacionadas con aspectos electromagnéticos, se utilizará el software Mathcad para la comprobación de cálculos de campos E y H, potencias radiadas y ganancias de antenas de cierta complejidad, así como modelo de acoplamiento mutuos entre antenas y circuitos de alimentación. Las hojas tipo “plantilla” que el profesor utilice para la resolución de ejercicios prácticos en el aula y otras que se consideren de utilidad para el alumno estarán disponibles en la página moodle de ACEM.

Es de especial importancia que el alumno utilice tanto los apuntes y ejercicios suministrados por el profesor complementándolos con la bibliografía que se recomienda a continuación:

### Bibliografía:

A continuación se listan algunos libros de texto de referencia que contienen todo o gran parte del temario propuesto:

- Ángel Cardama, Lluís Jofre, Juan Manuel Rius, Jordi Romeu, Sebastián Blanch, Miguel Ferrando "Antenas". 2002 Edicions UPC.  
Disponible en Biblioteca EPS - Referencia INF/B5260/ANT
- Constatine Balanis. "Antenna Theory. Analysis and Design". 2005 John Wiley & Sons.  
Disponible en Biblioteca EPS - Referencia INF/621.396/BAL
- Henry W. Ott, "Electromagnetic Compatibility Engineering". 2009. John Wiley & Sons, Inc.  
Disponible en Biblioteca EPS - Referencia INF/537/OTT
- José Luis Sebastián Franco, "Fundamentos de Compatibilidad Electromagnética", Addison&Wisley, 1999.  
Disponible en Biblioteca EPS - Referencia INF/A4110/SEB

Bibliografía complementaria para algunos temas puntuales:

- David M. Pozar, "Microwave Engineering", John Wiley, 2012  
Disponible en Biblioteca EPS - Referencia INF/621.396/POZ
- R. S. Elliot, "Antenna theory and Design", IEEE press, 2003.



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
Código: 18495  
Centro: Escuela Politécnica Superior  
Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
Nº de créditos: 6 ECTS

- Disponible en Biblioteca EPS - Referencia INF/B5260/ELL
- W.L. Stutzman. "Antenna Theory and Design" 2000. 2nd edition Wiley  
Disponible en Biblioteca EPS - Referencia INF/B5260/STU
  - C. A. Balanis, "Modern Antenna Handbook". Wiley, 2008.  
Disponible en Biblioteca EPS - Referencia INF/B5260/MOD
  - Joan Pere López Veraguas, "Compatibilidad Electromagnética", MARCOMBO, 2006
  - Joan Pere López Veraguas, "Compatibilidad electromagnética y seguridad funcional en sistemas electrónicos", MARCOMBO, 2010  
Disponible en Biblioteca EPS - Referencia INF/537/LOP
  - Tim Williams, "EMC for product designers", Elsevier, 2001  
Disponible en Biblioteca EPS - Referencia INF/A4110/WIL
  - Robert E. Collin, "Foundations for microwave engineering", McGraw-Hill, 2001  
Disponible en Biblioteca EPS - Referencia INF/B1300/COL

Bibliografía avanzada de alto nivel y de ampliación para algunos temas muy específicos:

- D. L. Sengupta, V.V. Liepa, "Applied Electromagnetics and Electromagnetic Compatibility", Wiley, 2006  
Disponible en Biblioteca EPS - Referencia INF/A4110/SEN.
- D.G.Fang, "Antenna Theory and Microstrip Antennas", Taylor & Francis, 2010.  
Disponible en Biblioteca EPS - Referencia INF/B5260/FAN
- S. Celozzi, R. Araneo, G. Lovat, "Electromagnetic Shielding", Wiley, 2008.  
Disponible en Biblioteca EPS - Referencia INF/A4110/CEL
- James R. James, "Handbook of Microstrip Antennas, vol.1", P. Peregrinus, 1989.  
Disponible en Biblioteca EPS - Referencia INF/B5260/HAN VOL. 1
- Chandran, Sathish, "Adaptive antenna arrays trends and applications", Springer, 2004.  
Disponible en Biblioteca EPS - Referencia INF/B5260/ADA

## 2. Métodos docentes

Las horas presenciales programadas en esta asignatura están orientadas a las clases de teoría, resolución de problemas, tutorías, simulaciones en ordenador, construcción de prototipos, medida de prototipos y pruebas escritas de evaluación continua del estudiante.

Estas actividades se distribuirán entre sesiones en el aula (todos los estudiantes juntos) y sesiones en el laboratorio (donde la clase se divide en grupos más reducidos y cuenta adicionalmente con ordenadores dotados de software para simulaciones electromagnéticas, laboratorio de construcción de PCBs, analizadores de redes y sistema esféricos de medida de antenas). Más concretamente, la actividad presencial se divide, de acuerdo con el horario de la asignatura, en tres horas semanales en el



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
Código: 18495  
Centro: Escuela Politécnica Superior  
Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
Nº de créditos: 6 ECTS

aula y dos horas adicionales de laboratorio también semanales (catorce sesiones en total durante el curso).

#### Actividad en el aula:

La actividad en el aula se encuentra repartida en cuatro aspectos: clase de teoría, tutorías, resolución de problemas y la última prueba escrita de evaluación continua al final del curso (la forma de evaluación está detallada en el apartado 4).

#### Actividad en el laboratorio:

Las catorce sesiones en el laboratorio están concebidas como complemento práctico a la teoría, con los estudiantes divididos en grupos más pequeños. En ellas se pretende principalmente abordar un diseño de agrupación de antenas y red de alimentación que satisfaga unas especificaciones radioeléctricas y de compatibilidad con el entorno que la rodea. En cada grupo, los alumnos se agruparán en parejas para realizar las actividades del laboratorio.

Las sesiones se dedicarán al diseño de dos tipos de fuentes radiadas interferente: una agrupación de antenas y su red de alimentación, bajo las especificaciones de radiación y compatibilidad electromagnética adecuadas, y una antena de apertura tipo bocina. En el caso de la agrupación de antenas se realizará además su construcción y medida. Parte de las sesiones se dedicarán a la simulación mediante software electromagnético CST Microwave Studio y ADS de las estructuras a diseñar. Así mismo, para apoyar los cálculos necesarios en el diseño se utilizará la herramienta Mathcad. El resto de sesiones se utilizarán para realizar las medidas tanto en analizador de redes como en cámara anecoica de los parámetros de reflexión, acoplamientos mutuos y radiación electromagnética de la agrupación de antenas construida. Quedarán como actividades no presenciales fuera del horario del laboratorio la realización de simulaciones complementarias para afinar el diseño, la redacción del informe final del proyecto y la generación de los ficheros gerber y soporte al técnico de laboratorio de PCBs para la construcción de los prototipos..

Los paquetes software electromagnéticos son ya conocidos por el alumno en asignaturas previas tales como **Fundamentos de Transmisión y Propagación de Ondas** (2º, 2º Semestre), **Electrónica de Comunicaciones** (3º, 2º Semestre) y **Medios de Transmisión** (3º, 1º Semestre).

Todas las actividades anteriores cuentan con la ventaja de que ahora los estudiantes se encuentran divididos en grupos mucho más pequeños, por lo que la atención hacia ellos es mucho más personalizada. Así mismo, les permite afrontar problemas aplicados reales usando los conceptos vistos en la teoría.

En las otras dos sesiones restantes de las catorce disponibles, se harán dos pruebas escritas (ver apartado 4) de evaluación continua (la tercera y última



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
Código: 18495  
Centro: Escuela Politécnica Superior  
Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
Nº de créditos: 6 ECTS

se hará en las dos últimas horas presenciales en el aula). En dichas pruebas una parte será sin apoyo de libros, apuntes u ordenador, y la otra parte con la utilización de dicho soporte.

A continuación se describen más en detalle las actividades que se llevarán a cabo tanto en el aula como en el laboratorio. La metodología utilizada en el desarrollo de la actividad docente incluye los siguientes tipos de actividades:

**\*Clases de teoría en el aula:**

**Actividad del profesor**

Clases expositivas combinadas con la realización de ejercicios sencillos. Se utilizará la pizarra, combinada con presentaciones en formato electrónico.

**Actividad del estudiante:**

*Actividad presencial:* Toma de apuntes, participar activamente en clase respondiendo a las cuestiones planteadas.

*Actividad no presencial:* Preparación de apuntes, estudio de la materia y realizaciones de ejercicios.

**\*Clases de problemas en el aula:**

**Actividad del profesor**

Consistirá en resolver los ejercicios indicados para tal fin, propuestos en la bibliografía recomendada y/o en exámenes de asignaturas previas con contenido y objetivos parciales similares.

**Actividad del estudiante:**

*Actividad presencial:* Participación activa en la resolución de los problemas y en el análisis de los resultados.

*Actividad no presencial:* Realización de otros ejercicios y problemas no resueltos en clase, y estudio de los planteados en las mismas.

**\*Tutorías en el aula:**

**Actividad del profesor:**

Tutorización a toda la clase en conjunto con el objetivo de resolver dudas comunes planteadas por los estudiantes. Las tutorías tienen carácter flexible, ya que, pueden estar orientadas con cuestiones teóricas/ejercicios/problemas señalados en clase para tal fin.

**Actividad del estudiante:**

*Actividad presencial:* Planteamiento de dudas individuales o en grupo y enfoque de posibles soluciones a las tareas planteadas.

*Actividad no presencial:* Redacción de preguntas. Estudio de las tareas marcadas y debate de las soluciones planteadas en el seno del grupo.

**\*Simulaciones de ordenador en el laboratorio:**



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
Código: 18495  
Centro: Escuela Politécnica Superior  
Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
Nº de créditos: 6 ECTS

#### **Actividad del profesor:**

Presentar el esquema de diseño a realizar por las parejas de alumnos. El profesor realizará una breve explicación de los métodos de diseño más adecuados a los proyectos propuestos. El profesor dará soporte a las parejas de cada grupo para resolver las dudas del simulador electromagnético y ayudar a los alumnos a decidir sobre la manera más óptima de resolver los problemas que los diseños planteen.

#### **Actividad del estudiante:**

*Actividad presencial:* Realización de los cálculos teóricos aplicados a los diseños propuestos. Estos cálculos podrán realizarse con la ayuda de las hojas Mathcad propuestas a lo largo del curso. Realización de las simulaciones en software electromagnético. Optimización de dimensiones, separaciones y geometrías más adecuadas en función de los resultados de las simulaciones obtenidas.

*Actividad no presencial:* Además de la preparación de la parte teórica correspondiente como actividad no presencial correspondiente a las clases teóricas en el aula, el alumno deberá dedicar más tiempo fuera del horario presencial del laboratorio a afinar los resultados obtenidos con más simulaciones.

#### **\*Medida en el laboratorio de los prototipos diseñados:**

##### **Actividad del profesor:**

Introducir a los alumnos en el uso del analizador de redes para la medida de parámetros de reflexión de antena, así como de acoplamientos mutuos tanto radiados como conducidos. También será tarea del profesor mostrar a los alumnos cómo utilizar el equipamiento de medida de diagrama de radiación que los alumnos usarán para la caracterización de la radiación de sus diseños. Finalmente, el profesor o un técnico especializado del laboratorio de fabricación de PCBs, se dedicarán a la fabricación de los prototipos requeridos a cada pareja de alumnos. Éstos, fuera del horario presencial de laboratorio, deberán en caso necesario acudir a apoyar en dicha tarea.

##### **Actividad del estudiante:**

*Actividad presencial:* El alumno será el encargado de calibrar, y realizar las medidas necesarias el analizador de redes para caracterizar los prototipos construidos. Así mismo, se encargará de colocar el prototipo final integrado de antena más red de alimentación en el trípode correspondiente de la cámara anecoica, y realizará el control de los motores y utilización del software de procesado de medida de la cámara anecoica para obtener el diagrama de radiación del prototipo diseñado.

*Actividad no presencial:* Generación de los ficheros gerber necesarios para la construcción de los dos prototipos requeridos en cada diseño. Dichos ficheros serán entregados al profesor o técnico responsable del laboratorio de fabricación de PCBs, y deberá apoyar a éste en la construcción del prototipo. Se encargará de realizar un informe final del diseño recogiendo los resultados



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
Código: 18495  
Centro: Escuela Politécnica Superior  
Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
Nº de créditos: 6 ECTS

en simulación y medida más significativos, incluyendo comparativas con los resultados teóricos esperados.

### 3. Tiempo de trabajo del estudiante

Actividades		Horas (%)	Horas (%)	
Presencial	Clases teóricas en el aula Tutorías en el aula	42h = 3h/sem. x 14 sem.	25 (16.7%)	76 h. (50.1%)
	Clases de problema en el aula		11 (7.3%)	
	Realización de pruebas de conocimiento en el aula		6 (1.3%)	
	Simulaciones en el laboratorio	28h = 2h/sem. x 14 sem.	22 (14.7%)	
	Medida de prototipos en el laboratorio		2 (1.3%)	
	Tutorías en grupo y tutorías lab.		4 (2.7%)	
	Realización del examen de la convocatoria ordinaria y extraordinaria*		6 (4.0%)	
No presencial	Estudio semanal regulado, resolución de problemas, etc	30 (20%)	74 h (49.9%)	
	Simulaciones para ajuste de prototipos de laboratorio e informe diseño	9 (6%)		
	Realización informes diseño laboratorio	3 (2.0%)		
	Preparación exámenes finales (*)	32 (21.3%)		
<b>Carga total de horas de trabajo: 25 horas x 6 ECTS</b>		<b>150 horas (100%)</b>		

(\*) Incluye la convocatoria ordinaria y la extraordinaria

### 4. Métodos de evaluación y porcentaje en la calificación final

**ATENCIÓN:** *Cualquier copia tanto en las distintas pruebas de conocimiento como en los diseños e informes presentados en el laboratorio se penalizará con rigurosidad. En estos casos, se aplicará la normativa a tal efecto vigente en la EPS que consiste en el suspenso en la convocatoria vigente, y la posibilidad de apertura de expediente informativo. La reiteración de estas prácticas de copia podría dar lugar a acciones más severas.*

La evaluación de la asignatura, o nota final (NF), dependerá de la nota de teoría (TE), de la nota de prácticas (PR) y de una puntuación extra procedente de las



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
Código: 18495  
Centro: Escuela Politécnica Superior  
Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
Nº de créditos: 6 ECTS

prácticas (EXT-PR), en la siguiente proporción:

$$NF = 0.5*TE+0.5*PR + EXT-PR$$

Las calificaciones de teoría TE y práctica PR se puntúan sobre 10 puntos. Es necesario obtener una calificación mínima de 4.5 puntos en TE y PR para poder aplicar la expresión anterior. Esta nota mínima, tanto para TE como para PR, debe ser obtenida para que la parte extra de prácticas (EXT-PR) pueda ser aplicada. La parte EXT-PR se conservará para las convocatorias ordinarias y extraordinarias año en curso. Si no se cumple esta condición, la calificación numérica que se hará constar en actas será:

$$NF = 0.5*\min(5,TE) + 0.5*\min(5,PR)$$

#### Nota de teoría, TE:

La nota de teoría TE será el resultado de uno de los dos procesos de evaluación que se describen:

- 1- Evaluación continua (TE-C): se basará en la asistencia a las actividades presenciales programadas y la realización de las 3 pruebas de evaluación continua (TEC1, TEC2, TEC3, puntuadas cada una sobre 10 puntos) planificadas en el transcurso de la asignatura (ver apartado 5).
- 2- Evaluación única (TE-U): la realización de una prueba o examen final (TEF) planificado en la convocatoria ordinaria o en la convocatoria extraordinaria de la asignatura.

Las pruebas de evaluación continua realizadas constarán de dos partes: una primera parte, que se realizarán sin libros ni apuntes, y que constará de preguntas breves de índole teórico-práctico, y la segunda parte, para la que se podrán utilizar libros y apuntes, que consistirá en la resolución de uno o varios ejercicios prácticos similares a los que se han propuesto y realizado durante el curso.

La **evaluación continua** será el proceso asumido por defecto. El resultado de este proceso será una media ponderada de las pruebas realizadas, aumentada por el indicador de asistencia:

$$TE-C = (1/3)*TEC1 + (1/3)*TEC2 + (1/3)*TEC3 + TE-APA/20$$

Observaciones: No existe nota mínima para ninguna de las pruebas de conocimiento EC1, EC2 o EC3 para poder realizar la evaluación continua. Por ello, el alumno que asista puntualmente a las clases manteniendo una actitud correcta en las mismas, podrá superar la nota mínima de teoría con un 4 como resultado de la media ponderada de las 3 pruebas de evaluación.

La **evaluación única** es el proceso excepcional dirigido a estudiantes que o bien no siguen el proceso de evaluación continua (TE-C=0), o bien, habiéndolo seguido, optan



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
Código: 18495  
Centro: Escuela Politécnica Superior  
Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
Nº de créditos: 6 ECTS

por presentarse a un examen final (EF) para aprobar o aumentar su nota. En este caso la calificación se obtendrá según:

$$TE-U=EF + TE-APA/20$$

Dado que ambos procesos no son excluyentes, la calificación final de la teoría se obtendrá como el máximo entre ambos:

$$TE= \text{Max}(TE-U, TE-C)$$

La calificación de teoría sólo se conserva para la convocatoria extraordinaria del mismo curso académico.

Los estudiantes que no realicen un examen final ni 2 de las 3 pruebas de evaluación continua recibirán en esta parte de teoría la calificación de “no evaluado”.

#### **Nota de prácticas (PR)**

La *evaluación continua* será el proceso asumido por defecto. Para aprobar esta parte, el estudiante deberá completar todas las sesiones prácticas (ver requisitos de asistencia en V.1.9). Si por motivos de no asistencia un estudiante es declarado NO APTO en prácticas, su nota de prácticas será PR = 0.

Las prácticas en el laboratorio se organizarán en grupos de 3 alumnos, y en casos excepcionales de 2 o 4 alumnos.

La nota de prácticas de cada grupo se obtendrá resultado de la siguiente ecuación

$$PR-C = 0.3*PR1 + 0.4*PR2 + 0.3*PR3$$

Dado que este laboratorio es fruto del trabajo en equipo, a esta nota PR-C se le podrá aplicar ponderaciones en la nota individual de cada integrante del grupo en función de su actitud y aprovechamiento de las sesiones de prácticas

El estudiante que no realice la entrega de alguna de las dos prácticas recibirá la calificación de no evaluado.

Si por motivos de asistencia (ver apartado I.9), un estudiante recibiera la calificación de NO APTO en prácticas, su nota de prácticas en la evaluación continua sería un 0.

La calificación de la práctica 1 (PR1) será en base al diseño de antenas de hilo mediante la utilización de los softwares ADS y CST ya utilizados en la asignatura de Medios de Transmisión (PR1\_DIS). En esta práctica habrá una parte voluntaria que permitirá obtener una nota extra EXT-PR1 de hasta 0.5 puntos. Con ello la calificación global de la práctica 1 sería:

$$PR1= PR1\_DIS+ EXT-PR1$$



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
Código: 18495  
Centro: Escuela Politécnica Superior  
Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
Nº de créditos: 6 ECTS

Así mismo, se planteara un diseño extra en CST que se valorará con hasta 0.5 puntos extra en la nota final (EXT-PR).

La calificación de la práctica 2 (PR2) proyecto de diseño de agrupación de antenas parche microstrip y red de alimentación. A la calificación obtenida por este diseño (PR2\_DIS) se le podrá añadir una nota extra (EXT-PR2) de hasta 0.5 puntos si se presenta además una agrupación de dipolos impresos. Con ello la calificación global de la práctica 2 sería:

$$PR2 = PR2\_DIS + EXT-PR2$$

Adicionalmente se podrá presentar una agrupación de parches microstrip apilados de amplio ancho de banda, que se valorará con una nota extra en la calificación de la asignatura (EXT-PR) de hasta 0.75 puntos.

Para el informe a presentar se tendrá en cuenta el cumplimiento de las especificaciones planteadas en el diseño, y los medios expuestos para su obtención. Salvo en casos muy “escandalosos”, la calificación se realizará en base a las simulaciones del software electromagnético. Sin embargo, sin la construcción y medida de los prototipos la calificación máxima que se puede obtener en la PR2 será de un 6.

La calificación de la práctica 3 (PR3) será en base al proyecto de diseño de una antena de bocina y antena reflectora parabólica. Al igual que en PR1 la nota del diseño (PR3\_DIS) se establecerá en función de la calidad del informe y la actitud en las prácticas: atención, preguntas realizadas y progreso. Para el informe se tendrá en cuenta el cumplimiento de las especificaciones planteadas, y los medios expuestos para su obtención. En esta práctica no se realizará construcción de prototipo. Se planteará una diseño extra correspondiente a antenas de bocina con alimentación de sonda coaxial, que se calificará con una nota extra para la práctica 3 (EXT-PR3) de hasta 0.5 puntos. Con ello la calificación global de la práctica 3 sería:

$$PR3 = PR3\_DIS + EXT-PR3$$

Así mismo, se planteara un diseño extra de bocina cónica corrugada o antenas de bocinas sectoriales que se calificará con hasta 0.5 puntos extra en la nota final (EXT-PR).

La calificación de prácticas (PR) se convalidará de manera indefinida para aquellos estudiantes que hayan obtenido una nota superior a 7. Aquellos estudiante con nota inferior a 7 sólo conservarán la misma para la convocatoria extraordinaria del mismo curso académico.



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
Código: 18495  
Centro: Escuela Politécnica Superior  
Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
Nº de créditos: 6 ECTS

La **evaluación única** es el proceso excepcional dirigido a estudiantes que o bien no siguen el proceso de evaluación continua, o bien, habiéndolo seguido, optan por realizar un trabajo final para aprobar o aumentar su nota. El trabajo final consistirá en realizar las mismas prácticas descritas para el caso de evaluación continua, con unas nuevas especificaciones y con la entrega de tres memorias, correspondientes a las nuevas PR1\_U, PR2\_U y PR3\_U. Estas memorias deberán entregarse el día del examen final de convocatoria ordinaria o extraordinaria según el caso.

$$PR-U = 0.3*PR1-U + 0.4*PR2-U + 0.3*PR3-U$$

La calificación final de prácticas se obtendrá como el máximo entre ambas calificaciones

$$PR = \text{Max}(PR-U, PR-C)$$

**ATENCIÓN:** *Cualquier copia descubierta que se haya realizado a lo largo del curso, tanto en cualquiera de las actividades de teoría desarrolladas, como en cualquiera de los apartados de las prácticas, serán penalizadas con rigurosidad. La penalización por copia implica la aplicación de la normativa interna de la EPS, que supone suspender la convocatoria actual y la posibilidad de apertura de expediente informativo. La reiteración de estas prácticas de copia podría dar lugar a acciones más severas.*

## 5. Cronograma

Contenido y Actividades, durante un curso de 14 semanas para las Horas presenciales en el aula (total 42 h en las 14 semanas) Horas no presenciales (total 29 h en las 14 semanas) Horas presenciales en el laboratorio (total 28 h en 14 sesiones de 2h) Horas no presenciales relacionadas con el laboratorio (total 13 en las 14 semanas) (Las restantes 38 horas hasta las 150h se dedicarían a la preparación y realización de los exámenes de la convocatoria ordinaria y extraordinaria)			
Horas presc. /	Actividades presenciales en el aula	Actividades no presenciales	Horas no



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
 Código: 18495  
 Centro: Escuela Politécnica Superior  
 Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
 Nivel: Grado  
 Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
 Nº de créditos: 6 ECTS

Sem.			presc.
<b>Tema I. Introducción a la Compatibilidad Electromagnética (Detalle de la Unidad Docente)</b>			
1/S1	I.1. Definición de interferencia (IEM), susceptibilidad (SEM) y compatibilidad electromagnética (CEM). I.2. Esquema básico de CEM. I.3. Tipos de acoplamiento en función del camino de propagación. I.3.1. Acoplamiento radiado I.3.2. Acoplamiento conducido I.4. Tipos de fuentes de interferencia I.4.1. Fuentes radiadas I.4.2. Fuentes conducidas I.4.3. Deficiente caracterización de componentes discretos I.5. Principales métodos de disminución SEM a interferencias	- Leer introducc. de la bibliografía [1]	0.5h
<b>1h</b>	<b>Total U.D.</b>	<b>Total U.D.</b>	<b>0.5h</b>
Bibliografía básica [1] J.L.Sebastian, Fund. CEM., Cap. 1.1,1.2,1.3,1.4 Tema I:			
<b>Tema II. Conceptos básicos de antenas (fuentes interferentes radiadas) (Detalle de la Unidad Docente)</b>			
2/S1	II.1. Concepto de antena. Tipos de antenas. II.2. Fundamentos de radiación II.2.1. Resolución de las ecuaciones de Maxwell aplicadas a radiación II.2.2. Regiones en el campo radiado por una antena: campo próximo reactivo, campo próximo radiante, campo lejano	- Estudio Cap.3.1,3.2,3.3.1,3.3.4 de [1] - Resolver cuestiones 3.1 - 3.20	0.5h
3/S1	II.3. Parámetros básicos de una antena II.3.1. Impedancia de entrada y coeficiente de reflexión II.3.2 Adaptación de impedancias entre antena y transceptor II.3.3 Caracterización con parámetros S II.3.4 Ancho de banda II.3.5 Diagrama de radiación II.3.6 Directividad, Ganancia y Eficiencia II.3.7 Polarización	- Leer Cap.1 de [1] Resolver cuestiones 1.1 – 1.20 de [1]	2h
4/S2	II.4. Teorema de reciprocidad en antenas II.5. La antena en recepción: Área equivalente de antena II.6. Temperatura equivalente de ruido en la antena. Fórmula de Friss Tutoría en el aula		
5/S2	Clase de ejercicios sobre parámetros básicos de antenas. Ejercicios tipo:1.1,1.2,1.3,1.6,1.7,1.9 de [1]	-Ej. 1.4, 1.5, 1.8, 1.10 de [1]	1h



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
 Código: 18495  
 Centro: Escuela Politécnica Superior  
 Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
 Nivel: Grado  
 Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
 Nº de créditos: 6 ECTS

6/S2			
<b>5h</b>	<b>Total U.D.</b>		<b>Total U.D. 3.5h</b>
Bibliografía básica [1] Cardama et al., Antenas., Cap. 1. Tema II:			
<b>Tema III. Antenas lineales e impresas (Detalle de la Unidad Docente)</b>			
7/S3	III.1. Concepto de antena lineal III.2. Estudio del dipolo eléctricamente corto. III.3. Estudio del dipolo eléctrico.	- Leer Cap.4.1.1,4.2	1h
8/S3	III.4. Teorema de las imágenes en antenas: monopolo vertical y dipolo horizontal sobre plano reflector metálico. Concepto balun III.5. Estudio de la antena de cuadro. III.6. Estudio de la antena en hélice.	-Leer Cap.4.3,4.1.2, 4.6.1-4.6.3,4.6.5,7.4	
9/S3	III.6. Estudio de la antena de parche impreso III.6.1. Modelo de línea de transmisión III.6.2. Modelo de cavidad resonante	-Leer 14.1,14.2	1h
10/S4	III.6.3. Formas de parches y de alimentación. III.6.4. Polarización dual lineal y circular en antenas de parche Tutoría en el aula	-Leer 14.3-14.5,14.7 de [2]	
11/S4	-Sesiones de resolución de problemas, tipo:4.1,4.2,4.3,4.4, ejemp.7.1 de [1], y 14.3,14.10,14.13 de [2]	- Realizar cuestiones 4.1 – 4.20,7.4-7.6 de [1] - Ej.4.18,4.25,4.35 de [1] - Ej.14.1,14.4,14.9 de [2]	3h
12/S4			
13/S5			
<b>7h</b>	<b>Total U.D.</b>		<b>Total U.D. 5h</b>
Bibliografía básica [1] Cardama et al., Antenas., Cap. 4.1,4.2,4.3,4.6,7.4. Tema III: [2] Balanis, Antenna Theory, Cap. 14.1-14.7			
<b>PRUEBA TEC1</b>			
14/S5	<b>Prueba de conocimiento de evaluación continua TEC1 en el aula</b>	<b>Preparación prueba TEC-1</b>	2h
15/S5			
<b>Tema IV. Agrupaciones de antenas (arrays) (Detalle de la Unidad Docente)</b>			
16/S6	IV.1. Concepto y tipos de arrays. IV.2. Acoplamiento mutuo entre antenas. Modelo con parámetros Z y parámetros S. IV.3. Principio de multiplicación de diagramas.	-Leer 3.6.4,4.5,5.1-5.3,5.9 de [1]	1h
17/S6	IV.4. Arrays lineales equiespaciados tipo broadside, endfire y de exploración.	-Leer 5.3-5.6, 5.10 de [1]	



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
 Código: 18495  
 Centro: Escuela Politécnica Superior  
 Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
 Nivel: Grado  
 Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
 Nº de créditos: 6 ECTS

18/S6	IV.5. La antena yagi como ejemplo de array lineal IV.6. Arrays reticulares.	-Leer 10.3.3.B,E,F de [2] - Leer 5.7 de [1]	1h
19/S7	IV.10.Introducción básica a arrays adaptativos para cancelación de interferencias. IV.7. Redes de alimentación.	- Leer 5.8.7 de [1] - Leer 14.6,14.8 de [2]	
20/S7	IV.7. Acoplamiento mutuo en redes impresas IV.8. CEM en el diseño de PCBs IV.9. Condensadores de desacoplo y bobina de choque de RF Tutoría en el aula	- Leer 6.4.3 [3] -Leer 7.6 de [4] - Leer 8.2,8.3,8.6 de [3]	3h
21/S7	Sesión de problemas tipo: 5.1,5.2,5.3, 5.10de [1] 6.21,6.32 de [2]	-- Realizar cuestiones 5.1-5.20 de [1] -Realizar problemas 5.6 de[1],6.5,6.10, 6.19,6.30 de [2] -Realizar problema 7.18, 7.19 y 7.21 de [4]	
22/S8			
<b>7h</b>	<b>Total U.D.</b>	<b>Total U.D.</b>	<b>5h</b>
Bibliografía Tema IV:	básica	[1] Cardama et al., Antenas., Cap. 3.6.4,4.5,5.1-5.10 [2] Balanis, Antenna Theory, Cap. 10.3,14.6,14.8 [3] J.L.Sebastian, Fund. CEM., Cap.6.4,6.5,8.2,8.3,8.6 [4] Pozar, Microwave Engineering., Cap. 7.6	
<b>PRUEBA TEC2</b>			
23/S8	<b>Prueba de conocimiento de evaluación continua TEC2 en el aula</b>	<b>Preparación prueba TEC-2</b>	2h
24/S8			
<b>Tema V. Antenas de apertura. Bocinas y reflectores (Detalle de la Unidad Docente)</b>			
25/S9	V.1. Concepto de antena de apertura. V.2. Principio de equivalencia y obtención de campos en la apertura. V.3. Estudio de las antenas de bocina rectangulares: Plano E	-Leer 6.1 de [1]	1h
26/S9	V.3. Estudio de las antenas de bocina rectangulares: Plano H, piramidales y corrugadas. V.4. Estudio de las antenas de bocina cónicas.	- Leer 6.2 de [1]	
27/S9	V.5. Concepto de antena reflectora. V.6. Estudio de la antena reflectora parabólica simple centrada	- leer 6.4.2.1-6.4.2.3 de [1]	1h
28/S10	V.6. Estudio de la antena reflectora parabólica simple descentrada V.7. Estudio de la antena reflectora parabólica doble	-Leer 6.4.2.4-6.4.2.6 de [1] -Leer 15.4.2 de [2]	



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
 Código: 18495  
 Centro: Escuela Politécnica Superior  
 Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
 Nivel: Grado  
 Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
 Nº de créditos: 6 ECTS

	centrada (sistemas Cassegrain y Gregoriano). Tutoría en el aula			
29/S10	Sesión de problemas tipo:6.3,6.4,6.5,6.11,6.13 de [1]		-Realizar hoja de mathcad para el análisis de bocina piramidal utilizada como alimentador de reflector centrado -Hacer cuestiones 6.1-6.20 y problemas 6.5,6.15 de [1]	2h
30/S10				
31/S11				
<b>7h</b>	<b>Total U.D.</b>		<b>Total U.D.</b>	<b>4h</b>
Bibliografía básica Tema V		[1] Cardama et al., Antenas., Cap. 3.6.4,4.5,5.1-5.10 [2] Balanis, Antenna Theory, Cap. 10.3,14.6,14.8		
<b>Tema VI. Apantallamiento – Inmunidad ante acoplo radiado (Detalle de la Unidad Docente)</b>				
32/S11	VI.1. Inmunidad ante interferencias radiadas: Principio electromagnético de apantallamiento		-Leer Cap. 6.1-6.4 de [1] -Leer Cap. 11 de [2]	1.5h
33/S11	VI.2.Acoplamiento radiado en campo próximo VI.2.1. Acoplamiento capacitivo – Efecto del apantallamiento			
34/S12	VI.2.2 Acoplamiento inductivo – Efecto del apantallamiento VI.2.3. Diafonía			
35/S12	Clase de ejercicios sobre acoplamiento radiado. Ejercicios basados en Fig.6.2 – 6.6 de [1]		- Ejercicios basados en Fig.10.1, 10.4 y 10.6 de[2]	1h
<b>4h</b>	<b>Total U.D.</b>		<b>Total U.D.</b>	<b>2.5h</b>
Bibliografía básica Tema VI:		[1] J.L.Sebastian, Fund. CEM., Cap.6.1-6.4 [2] D. L. Sengupta, Applied Electroma., Cap. 10		
<b>Tema VII. Acoplamiento conducido. Fuentes y métodos de cancelación (Detalle de la Unidad Docente)</b>				
36/S12	VII.1. Acoplamiento conducido por impedancia común. VII.1.1. Diferencias entre puesta a masa y tierra de un circuito VII.1.2. Adecuada puesta a masa: masas centralizadas, distribuidas e híbridas		-Leer 6.7 de [1] -Leer 5,1.1, así como 6.1.2 y 6.1.3 de [2]	1h
37/S13	VII.2 Interferencias conducidas en modo diferencial DM y en modo común CM VII.3 Transformadores: CM-CM,DM-DM,CM-DM y de aislamiento		- Leer 6.8, 8.7 de [1] - Leer 5.1.5, 5.2.2 de [2]	
38/S13	VII.4. CEM por transitorios de conmutación en circuitos VII.5. CEM en cables – Normativa BS IEC 61000-5-2		- Leer 6.6,6.9, 7.7 de [1] - Leer 5.3.2 de [2]	1h



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
 Código: 18495  
 Centro: Escuela Politécnica Superior  
 Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
 Nivel: Grado  
 Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
 Nº de créditos: 6 ECTS

39/S14	VII.6. Filtrado como método de cancelación de interferencias Resolución ejercicios	-Leer 8.2, 8.3, 8.4 de [1] - Leer 8.2 de [2]	
<b>4h</b>	<b>Total U.D.</b>		<b>Total U.D.</b> <b>2h</b>
Bibliografía básica		[1] J.L.Sebastian, Fund. CEM., Cap.6.7-6.9,7.7,8.2-8.4,8.7	
Tema VII:		[2] T. Williams, EMC for product designers., Cap. 5.1, 5.2.2, 5.3.2, 8.2	
<b>Tema VIII. Sistemas de medidas de antenas y CEM (Detalle de la Unidad Docente)</b>			
40/S14	VIII.1.Sistema abierto de medida de antenas en campo lejano VIII.2.Cámara anecoica VIII.2.1. Medidas de CEM, SEM y IEM VIII.2.2. Medida de antenas: Campo lejano y campo cercano. VIII.3. Ejemplo de medida CEM: Medida de emisiones radioeléctricas procedentes de antenas de estación base de telefonía móvil.	-Leer 9.1-9.4,9.7,9.10 de [1] - Cap.10 de [2]	0.5h
<b>1h</b>	<b>Total U.D.</b>		<b>Total U.D.</b> <b>0.5h</b>
Bibliografía básica		[1] Cardama et al., Antenas., Cap. 9.1-9.4,9.7,9.10	
Tema VIII:		[2] J.L.Sebastian, Fund. CEM., Cap.10	
<b>PRUEBA TEC3</b>			
41/S14	<b>- Prueba de conocimiento de evaluación continua TEC-3 en el aula</b>	<b>Preparación prueba TEC-3</b>	2h
42/S14			
43,44, 45/ S15	<b>- Realización examen final EF</b>	- Prep. Examen final	15h
<b>45 h.</b>	<b>Número de horas de trabajo del estudiante totales</b>		<b>44 h.</b>

### Cronograma de actividades relacionadas con el laboratorio

Horas presc. / Sem.	Actividades presenciales en el aula	Actividades no presenciales	Horas no presc.
<b>Diseño, construcción y medida de un array de antenas (Fase 1: Diseño del elemento unitario)</b>			
2h/S1	- Explicación sobre la forma de diseñar los diseños de elementos unitarios propuestos	- Estudio sobre los diseños explicados	1h
6h/S2-S4	- Diseño en CST de un elemento unitario en tecnología impresa: dipolo, monopolo o parche	-Simulaciones extras para terminar el diseño	2h
<b>Ejercicios prácticos sobre parches y dipolos</b>			
2h/S5	- Realización de problemas sobre dipolos y parches	-Estudio de los ejercicios realizados	0.5h
<b>Diseño, construcción y medida de un array de antenas</b>			



Asignatura: Antenas y Compatibilidad Electromagnética (ACEM)  
Código: 18495  
Centro: Escuela Politécnica Superior  
Titulación: Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación  
Nivel: Grado  
Tipo: Formación de Tecnología Específica en Sistemas Electrónicos  
Nº de créditos: 6 ECTS

<b>(Fase 2: Diseño de la topología de array y red de alimentación)</b>			
8h/S6-S9	- Diseño de la topología de alimentación según especificaciones de sistema. Utilización del elemento unitario de la Fase1. Diseño en ADS y CST de la red de alimentación con los criterios de EMC en PCBs vistos en U.D.IV. -Integración con elementos radiantes y estudio de interferencia mútuas y acoplamientos	- Simulaciones extras para terminar el diseño - Construcción en taller de circuitos impresos del prototipo integrado	4h
<b>Ejercicios prácticos sobre agrupaciones de antenas</b>			
2h/S10	-Resolución de problemas sobre agrupaciones de antenas	-Estudio de los ejercicios realizados	0.5h
<b>Diseño, construcción y medida de un array de antenas (Fase 3: Medida de la antena completa)</b>			
2h/S11	- Medida en analizador de redes de reflexión de entrada, y en cámara anecoica (U.D.VIII) del diagrama de radiación de la antena completa.	-Informe final	3h
<b>Diseño de antena de apertura (Fase 4: Integración agrupación de antenas y red de alimentación)</b>			
6h/S12 -S14	- Diseño de una antena de apertura con simulación en CST según especificaciones y uso de MathCad para cálculos accesorios	- Simulaciones extra - Informe final	2h
<b>28 h.</b>	<b>Número de horas totales de trabajo del estudiante</b>		<b>13 h.</b>