



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID

PROCESO DE  
COORDINACIÓN DE LAS  
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Ingenieros de  
Telecomunicacion

# ANX-PR/CL/001-01

## GUÍA DE APRENDIZAJE

### ASIGNATURA

**95000013 - Electromagnetismo**

### PLAN DE ESTUDIOS

09TT - Grado En Ingenieria De Tecnologias Y Servicios De Telecomunicacion

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2022/23 - Primer semestre

## Índice

---

### Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Conocimientos previos recomendados.....	2
4. Competencias y resultados de aprendizaje.....	3
5. Descripción de la asignatura y temario.....	4
6. Cronograma.....	10
7. Actividades y criterios de evaluación.....	14
8. Recursos didácticos.....	19
9. Otra información.....	20

## 1. Datos descriptivos

---

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	95000013 - Electromagnetismo
<b>No de créditos</b>	4.5 ECTS
<b>Carácter</b>	Básica
<b>Curso</b>	Segundo curso
<b>Semestre</b>	Tercer semestre
<b>Período de impartición</b>	Septiembre-Enero
<b>Idioma de impartición</b>	Inglés/Castellano
<b>Titulación</b>	09TT - Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicacion
<b>Centro responsable de la titulación</b>	09 - Escuela Tecnica Superior De Ingenieros De Telecomunicacion
<b>Curso académico</b>	2022-23

## 2. Profesorado

---

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

<b>Nombre</b>	<b>Despacho</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Horario de tutorías *</b>
Pablo Sanchez Olivares	C-416	pablo.sanchezo@upm.es	Sin horario. Concertar cita por correo electrónico.
Miguel Alejandro Salas Natera	C-411	miguel.salas@upm.es	Sin horario. Concertar cita por correo electrónico.

Belen Galocha Iraguen (Coordinador/a)	C-410	belen.galocha@upm.es	Sin horario. Concertar cita por correo electrónico.
Jose Manuel Fernandez Gonzalez	C-416	josemanuel.fernandez.gonza lez@upm.es	Sin horario. Concertar cita por correo electrónico.
Adrian Tamayo Dominguez	C-418	a.tamayo@upm.es	Sin horario. Concertar cita por correo electrónico

\* Las horas de tutoría son orientativas y pueden sufrir modificaciones. Se deberá confirmar los horarios de tutorías con el profesorado.

### 3. Conocimientos previos recomendados

---

#### 3.1. Asignaturas previas que se recomienda haber cursado

- Algebra
- Fisica General 1
- Calculo
- Analisis Vectorial
- Introduccion Al Analisis De Circuitos

#### 3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

- El plan de Estudios Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación no tiene definidos otros conocimientos previos para esta asignatura.

## 4. Competencias y resultados de aprendizaje

---

### 4.1. Competencias

CEB3 - Comprensión y dominio de los conceptos básicos sobre las leyes generales de la mecánica, termodinámica, campos y ondas y electromagnetismo y su aplicación para la resolución de problemas propios de la ingeniería

CG1 - Que los estudiantes hayan demostrado poseer y comprender conocimientos en un área de estudio 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

CG5 - Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía

### 4.2. Resultados del aprendizaje

RA21 - Adquirir los conocimientos cualitativos y cuantitativos de los campos electromagnéticos, su formalismo deductivo basado en el modelo de Maxwell y su aplicación para la resolución de problemas propios de la ingeniería de telecomunicación a nivel introductorio.

RA22 - Conocimientos cualitativos y cuantitativos del comportamiento de los circuitos eléctricos más simples, necesarios para el análisis y diseño de los componentes básicos de los sistemas electrónicos y de comunicaciones.

RA20 - Comprender los fenómenos naturales como base de conocimiento para las tecnologías actuales.

RA16 - Aprender y comprender las leyes y teorías que describen el funcionamiento del Universo.

RA17 - Aprender a razonar científicamente y poder resolver problemas a partir de las leyes básicas de la Física.

RA19 - Adquirir los conocimientos cualitativos y cuantitativos de los fenómenos físicos básicos, imprescindibles para poder iniciarse en el aprendizaje de los de mayor nivel de complejidad.

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

La asignatura tiene como objetivo introducir el Modelo de Maxwell del Electromagnetismo Macroscópico y proporcionar los métodos y procedimientos usados para el análisis y resolución de los problemas electromagnéticos complejos propios de la Ingeniería de Telecomunicación (en particular líneas de transmisión y guías de onda, antenas y propagación de ondas).

Para ello se hace en primer lugar una revisión de los conceptos matemáticos necesarios para la asignatura (principalmente Álgebra Vectorial, Sistemas de Coordenadas, Análisis Vectorial, Cálculo, ...). Se presenta a continuación el modelo de Maxwell para el Electromagnetismo Macroscópico (las densidades de carga y de corriente como fuentes del campo, las ecuaciones de Maxwell en modo diferencial y en modo integral, las condiciones de salto, las unidades y dimensiones, la energía, ...).

Para aprender a resolver el modelo se procede a hacerlo de forma progresiva: desde las situaciones simples a las complicadas. Se parte pues del estudio de la Electrostática, donde no hay variación con el tiempo ni de las fuentes (cargas y corrientes) ni de los campos y tampoco hay movimiento de las cargas (corrientes). Se identifica la Ley de Gauss y se aplica en un conjunto de distribuciones de carga para las que su aplicación permite obtener analíticamente el campo. Se obtiene de esta manera el campo de la carga puntual y usando el principio de superposición se obtienen las expresiones para el cálculo del campo mediante las aportaciones infinitesimales de los elementos de carga. Se define el potencial y se obtiene la ecuación de Poisson / Laplace para obtener el potencial en función de la densidad de carga. Se integra la ecuación de Poisson para la carga puntual y aplicando superposición se generaliza para distribuciones de carga arbitrarias. Se aplica al dipolo eléctrico y se introduce la aproximación de campo lejano y el método de las imágenes. Se estudian a continuación los sistemas de conductores y en particular los condensadores con el concepto y cálculo de la Capacidad. Finalmente se estudian la energía y las acciones mecánicas del Campo Electrostático.

Se continúa con las situaciones Estacionarias en las que no hay variación con el tiempo pero sí hay movimiento de cargas (corrientes estacionarias). Las ecuaciones de Maxwell en situaciones estacionarias pueden separarse en dos subconjuntos, uno para el campo eléctrico estacionario y otro para el campo magnético estacionario, que están relacionados por la densidad de corriente estacionaria. Del primer subconjunto se obtiene la distribución de corriente estacionaria que se aplica en el segundo bloque de ecuaciones mencionado como fuente del campo magnético estacionario. Se define el potencial escalar estacionario, se calcula su distribución en el interior de un conductor, se obtiene el campo eléctrico estacionario a partir del potencial y la densidad volumétrica de corriente mediante la ley de Ohm. Se define la resistencia del conductor y se observa la dualidad Resistencia / Capacidad.

Una vez conocida la densidad de corriente estacionaria se identifica la Ley de Ampère que se aplica en diversos ejemplos en los que se puede obtener analíticamente el campo magnético estacionario. Se define el Potencial Vector y se utiliza para obtener la Ley de Biot y Savart que expresa el campo magnético estacionario directamente en función de la densidad de corriente. Se obtiene el Momento Magnético y las aproximaciones de campo lejano. Se estudia la energía del campo magnético estacionario y los coeficientes de auto inducción e inducción mutua.

Finalmente se inicia el estudio de la Electrodinámica. Se definen los potenciales escalar y vector electrodinámicos, se utiliza la condición de separabilidad de Lorentz para obtener las ecuaciones de D'Alembert y expresar su solución por analogía con la solución de la ecuación de Poisson. Se estudia la variación temporal en régimen sinusoidal permanente y el uso de las magnitudes complejas en sustitución de la variación temporal. Para una corriente puntual se obtiene el potencial vector como una onda esférica y se identifican parámetros tales como la longitud de onda y el retardo. El campo Cuasiestacionario o de variación temporal lenta se presenta como caso particular de la variación temporal arbitraria sin retardo y se analiza especialmente la Ley de Inducción de Faraday.

### **Brief description of the subject**

The focus of the course is to introduce Maxwell Model of Macroscopic Electromagnetism and provide the methods and procedures used for the analysis and resolution of the complex electromagnetic problems of Telecommunication Engineering (in particular transmission lines and waveguides, antennas and propagation of waves).

For this, a revision of the mathematical concepts necessary for the subject is done first (mainly Vectorial Algebra, Coordinate Systems, Vectorial Analysis, Calculus, ...). Maxwell model for Macroscopic Electromagnetism is presented below (electric charge and electric current densities as field sources, Maxwell equations in differential mode and in integral mode, boundary conditions, units and dimensions, energy, ...)

To learn how to solve the model, we proceed to do it progressively: from simple to complicated situations. We start from the study of Electrostatics, where there is not variation with time neither from the sources (charges and currents) nor from the fields and there is no movement of charges (currents). The Gauss's Law is identified and applied in a set of electric charge distributions for which its application allows to obtain the field analytically. The field of electric point charge is obtained in this way and, using the superposition principle, the expressions for the calculation of the field are obtained by the infinitesimal contribution of the charge elements. The potential is defined and Poisson's / Laplace's equation is obtained to get the potential as a function of the electric charge density. Poisson's equation is integrated for the electrical point charge and applying superposition is generalized for arbitrary electric charge distributions. It is applied to the electric dipole and far field approximation and image's method are introduced. Electrostatic conductor systems and in particular capacitors, with the concept and calculation of the Capacity, are studied below. Finally, the energy and the mechanical actions of the Electrostatic Field are studied.

Then, stationary situations, in which there is no variation with time but there is movement of loads (stationary currents), are studied. Maxwell's equations in stationary situations can be separated into two subsets, one for the stationary electric field and the other for the stationary magnetic field, which are related by the stationary current density. From the first subset we obtain the stationary current distribution that is applied in the second block of equations mentioned as the source of the stationary magnetic field. Stationary scalar potential is defined, its distribution is calculated inside a conductor, stationary electric field is obtained from the potential and the volumetric density of current by Ohm's law. Resistance of conductors is defined and the Resistance / Capacity duality is observed. Once the steady current density is known, Ampère's Law is identified and applied in several examples in which the stationary magnetic field can be obtained analytically. The Vector Potential is defined and it is used to obtain the Biot and Savart's Law that expresses the stationary magnetic field directly as a function of the current density. Magnetic Moment and far-field approximations are obtained. The energy of the stationary magnetic field and the coefficients of self induction and mutual induction are studied.

Finally, Electrodynamics is studied. Scalar potentials and electrodynamic vectors are defined, Lorentz's gauge condition is used to obtain the D'Alembert equations and express their solution by analogy with the solution of the Poisson equation. Temporal variation in permanent sinusoidal regime and the use of complex magnitudes in substitution of temporal variation are studied. For a point current, the vector potential is obtained as a spherical wave and parameters such as wavelength and delay are identified. The Quasistationary or slow temporal variation field is presented as a particular case of arbitrary temporal variation without delay and the Faraday's Induction Law is specially analyzed.

## Syllabus

### 1. Introduction

1. Review of vector algebra: Operations with vectors, Coordinate systems.
2. Vector operators: Gradient, Divergence, Rotational, Laplacian. Associated Theorems: Gauss's Theorem and Stokes's Theorem. Nabla operator. Exercises

### 2. General Equations of Electromagnetism.

1. Charge density, Current density, Continuity Equation.
2. Maxwell's equations, Maxwell's equations in integral and differential form.
3. Characterization of Medium, Ohm's Law, Relaxation time, Units and Dimensions.
4. Definition of the E and B fields, EM Energy, Boundary conditions.
5. Exercises.

### 3. Electrostatic Field (Electrostatics).

1. Electrostatics Equations. Electric field in a conductor.
2. Gauss's Law, Field of a electrical point charge, Superposition and expression of the field by infinitesimal contributions.
3. Distributions with spherical, cylindrical and planar symmetries. Sphere, infinite charge line and

charge sheet. Exercises.

4. Definition of the electric potential: physical meaning and continuity, Poisson's and Laplace's Equations, Boundary conditions for uniqueness potential theorem.
  5. Integration of Poisson's Equation for a electrical point charge, Potential of an electrical point charge, Superposition and expression of the potential by infinitesimal contributions. Exercises.
  6. Calculation of the electric field and the electric potential of a spherical charge distribution by Gauss's Law and integration of the Poisson's Equation. Calculation of the electric potential in the axis of a uniform charge disk. Calculation of the electric potential of a uniform charge line.
  7. Mean Value Theorem of Electrostatics, Dipole.
  8. Method of Images. Exercises.
  9. Electrostatic conductor systems, Capacity coefficients, Reciprocity Theorem, Capacitance and Electromagnetic Shielding, Capacitors: spherical, cylindrical and planar.
  10. Electrostatic Energy, Energy of an electrostatic system of conductors, Formation and Interaction. Energy.
4. Stationary currents.
    1. Stationary Field Equations, Stationary Currents Properties, Electromotive force (e.m.f.), Perfect Electric Conductor (PEC), Boundary Conditions in interfaces.
    2. Resistance, Examples, R/C Duality, Exercises.
  5. Stationary Magnetic Field (Magnetostatics).
    1. Magnetostatics Equations, Definition of Magnetic Vector Potential, Solution of the Magnetic Vector Potential, Biot-Savart's Law.
    2. Exercises: Field of the circular current loop. Finite Cylindrical Solenoid.
    3. Ampere's Law: Application to the indefinite current line, current wire and coaxial cable; Application to the indefinite solenoid and current sheet.
    4. Potential vector in points far away from the source, Magnetic moment, Magnetic field in points far away from the source, Magnetic moment of planar current loop.
    5. Magnetostatic field energy, Energy in function of currents and energy of the filiform current distribution. Formation and Interaction energy,
    6. Filiform current systems and induction coefficient, induction coefficients of non-filiform currents, internal and external self-induction of a distribution, Exercises.
  6. Electrodynamics (Arbitrary temporal variation) and Slow temporal variation.
    1. Electrodynamics Equations, Electrodynamics potentials, Potential of a point current.
    2. Slow temporal variation, Faraday's Law, Exercises.

## 5.2. Temario de la asignatura

### 1. Introducción.

1.1. Revisión del álgebra vectorial: Sistemas de coordenadas

1.2. Gradiente, divergencia y rotacional. Teoremas de Gauss y Stokes. El operador Nabla. Ejercicios

### 2. Ecuaciones Generales del Electromagnetismo

2.1. Densidad de carga. Densidad de corriente. Ecuación de continuidad

2.2. Ecuaciones de Maxwell. Ecuaciones de Maxwell en forma integral

2.3. Caracterización de medios materiales. Ley de Ohm. Constante de relajación. Unidades y dimensiones

2.4. Definición de los campos E y B. Energía. Condiciones de salto.

2.5. Ejercicios

### 3. Campo Electrostático

3.1. Ecuaciones de la Electrostática. Campo eléctrico en un conductor

3.2. Ley de Gauss. Campo de una carga puntual. Superposición y expresión del campo por aportaciones infinitesimales.

3.3. Distribuciones con simetría esférica, cilíndrica o plana. Esfera, línea de carga indefinida y hoja de carga. Ejercicios

3.4. Definición del potencial: Sentido físico y continuidad. Ecuaciones de Poisson y Laplace. Condiciones de contorno para unicidad del potencial

3.5. Integración de la ecuación de Poisson para una carga puntual. Potencial de una carga puntual. Superposición y expresión del potencial por aportaciones infinitesimales.

3.6. Campo y potencial de una distribución esférica de carga por el método de Gauss y la integración de Poisson. Potencial de un disco de carga uniforme en el eje, de una línea de carga uniforme y de distribuciones bidimensionales.

3.7. Teorema de la media. Potencial y campo de distribuciones multipolares. Dipolo. Desarrollo multipolar del potencial

3.8. Método de las imágenes. Ejercicios

3.9. Sistemas electrostáticos de conductores. Coeficientes de Capacidad; Teorema de Reciprocidad. Capacidad y apantallamiento. Condensador. Ejercicios

3.10. Energía electrostática. Energía de un sistema electrostático de conductores. Energía de formación e interacción. Acciones mecánicas: Fuerzas y Pares. Ejercicios

#### 4. Corrientes Estacionarias

4.1. Ecuaciones del Campo Estacionario. Propiedades de las Corrientes Estacionarias. Generadores. Fuerza electromotriz. Conductor Perfecto. Condiciones de contorno en interfaces

4.2. Resistencia. Ejemplos. Dualidad R/C. Ejercicios

#### 5. Campo magnético estacionario

5.1. Ecuaciones de la Magnetostática. Definición del Potencial vector magnético. Solución del Potencial vector magnético. Ley de Biot y Savart.

5.2. Ejercicios. Campo de la espira circular. Solenoide cilíndrico finito

5.3. Ley de Ampère: Aplicación a la línea de corriente indefinida, a la hoja de corriente, al cable coaxial y al solenoide indefinido

5.4. Potencial vector en puntos alejados. Momento magnético. Campo magnético en puntos alejados. Momento magnético de espiras planas

5.5. Energía del campo magnetostático. Energía en función de las corrientes y Energía de la distribución de corriente filiforme. Energía de formación e interacción. Sistemas de corrientes filiformes y coeficientes de inducción

5.6. Coeficientes de inducción de corrientes no filiformes. Autoinducción interna y externa de una distribución. Fuerzas magnéticas. Ejemplos

#### 6. Electrodinámica y variación temporal lenta

6.1. Ecuaciones de la electrodinámica. Potenciales electrodinámicos. Potencial de una corriente puntual. Onda progresiva y regresiva. Retardo

6.2. Variación temporal lenta. Ley de Faraday. Lemas de Kirchoff. Ejercicios

## 6. Cronograma

### 6.1. Cronograma de la asignatura \*

Sem	Actividad en aula	Actividad en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	<p><b>Tema 1.1</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Ejercicios Tema 1.1</b> Duración: 00:30 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Tema 1.2.a</b> Duración: 00:25 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			<p><b>Resolución de un ejercicio corto en el aula</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 00:05</p>
2	<p><b>Tema 1.2 b</b> Duración: 00:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Ejercicios Tema 1.2</b> Duración: 01:25 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Tema 2.1</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			<p><b>Resolución de un ejercicio corto en el aula</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 00:05</p>
3	<p><b>Ejercicios Tema 2.1</b> Duración: 00:30 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Tema 2.2</b> Duración: 00:55 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Ejercicios Tema 2.2</b> Duración: 00:30 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Tema 2.3</b> Duración: 00:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 2.4</b> Duración: 00:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			<p><b>Resolución de un ejercicio corto en el aula</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 00:05</p>
4	<p><b>Tema 2.4</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Ejercicios Temas 2.3 y 2.4</b> Duración: 01:55 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			<p><b>Resolución de un ejercicio corto en el aula</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 00:05</p>

5	<p><b>Tema 3.1</b> Duración: 00:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Temas 3.2 y 3.3</b> Duración: 01:25 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Ejercicios (Temas 3.1 a 3.3)</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			<p><b>Resolución de un ejercicio corto en el aula</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 00:05</p>
6	<p><b>Ejercicios (Temas 3.1 a 3.3)</b> Duración: 01:55 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Tema 3.4</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			<p><b>Resolución de un ejercicio corto en el aula</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 00:05</p>
7	<p><b>Ejercicios Tema 3.4</b> Duración: 00:30 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Tema 3.5</b> Duración: 00:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 3.6</b> Duración: 00:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Ejercicios Temas 3.5 y 3.6</b> Duración: 01:25 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			<p><b>Resolución de un ejercicio corto en el aula</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 00:05</p>
8	<p><b>Ejercicios Temas 3.5 y 3.6</b> Duración: 01:25 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Tema 3.7</b> Duración: 00:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Ejercicios Temas 3.7</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			<p><b>Resolución de un ejercicio corto en el aula</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 00:05</p>
9	<p><b>Tema 3.8</b> Duración: 00:45 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Ejercicios Temas 3.8</b> Duración: 00:40 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Tema 3.9</b> Duración: 00:45 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Ejercicios Tema 3.9</b> Duración: 00:45 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			<p><b>Resolución de un ejercicio corto en el aula</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 00:05</p>

10	<p><b>Tema 3.10</b> Duración: 00:40 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Ejercicios Temas 3.10</b> Duración: 00:30 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Tema 4.1</b> Duración: 01:45 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			<p><b>Resolución de un ejercicio corto en el aula</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 00:05</p>
11	<p><b>Tema 4.2 (incluye Ejercicios Temas 4.1 y 4.2)</b> Duración: 01:15 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 5.1</b> Duración: 00:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Ejercicios Temas 5.2</b> Duración: 01:10 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			<p><b>Resolución de un ejercicio corto en el aula</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 00:05</p>
12	<p><b>Tema 5.3</b> Duración: 00:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 5.3</b> Duración: 00:55 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Tema 5.4</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Ejercicios Tema 5.4</b> Duración: 00:30 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			<p><b>Resolución de un ejercicio corto en el aula</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 00:05</p>
13	<p><b>Tema 5.5</b> Duración: 00:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Ejercicios Temas 5.5</b> Duración: 00:30 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Tema 5.6</b> Duración: 00:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Ejercicios Tema 5.6</b> Duración: 01:25 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			<p><b>Resolución de un ejercicio corto en el aula</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 00:05</p>
14	<p><b>Tema 6.1</b> Duración: 00:45 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 6.2</b> Duración: 00:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Ejercicios Tema 6.2</b></p>			<p><b>Resolución de un ejercicio corto en el aula</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 00:05</p> <p><b>Resolución de un ejercicio corto en el aula</b></p>

	Duración: 01:35 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 00:05
15				
16				
17				<b>Examen Final</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 03:00  <b>Examen Final</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final Presencial Duración: 03:00

Para el cálculo de los valores totales, se estima que por cada crédito ECTS el alumno dedicará dependiendo del plan de estudios, entre 26 y 27 horas de trabajo presencial y no presencial.

\* El cronograma sigue una planificación teórica de la asignatura y puede sufrir modificaciones durante el curso derivadas de la situación creada por la COVID-19.

## 7. Actividades y criterios de evaluación

### 7.1. Actividades de evaluación de la asignatura

#### 7.1.1. Evaluación (progresiva)

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
1	Resolución de un ejercicio corto en el aula	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:05	1.67%	0 / 10	
2	Resolución de un ejercicio corto en el aula	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:05	1.67%	0 / 10	
3	Resolución de un ejercicio corto en el aula	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:05	1.67%	0 / 10	
4	Resolución de un ejercicio corto en el aula	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:05	1.67%	0 / 10	
5	Resolución de un ejercicio corto en el aula	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:05	1.67%	0 / 10	
6	Resolución de un ejercicio corto en el aula	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:05	1.67%	0 / 10	
7	Resolución de un ejercicio corto en el aula	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:05	1.67%	0 / 10	
8	Resolución de un ejercicio corto en el aula	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:05	1.67%	0 / 10	

9	Resolución de un ejercicio corto en el aula	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:05	1.67%	0 / 10	
10	Resolución de un ejercicio corto en el aula	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:05	1.67%	0 / 10	
11	Resolución de un ejercicio corto en el aula	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:05	1.67%	0 / 10	
12	Resolución de un ejercicio corto en el aula	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:05	1.67%	0 / 10	
13	Resolución de un ejercicio corto en el aula	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:05	1.67%	0 / 10	
14	Resolución de un ejercicio corto en el aula	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:05	1.67%	0 / 10	
14	Resolución de un ejercicio corto en el aula	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:05	1.67%	0 / 10	
17	Examen Final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	80%	3 / 10	CG1 CG5 CEB3

### 7.1.2. Prueba evaluación global

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
17	Examen Final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	100%	5 / 10	CG1 CG5 CEB3

### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Examen final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	100%	5 / 10	CEB3 CG1 CG5

## 7.2. Criterios de evaluación

Los estudiantes serán evaluados, por defecto, mediante evaluación progresiva. El estudiante puede optar a la evaluación por prueba global (formada por una o más actividades de evaluación global de la asignatura).

La evaluación comprobará si los estudiantes han adquirido las competencias de la asignatura. Por tanto, la evaluación mediante prueba final usará los mismos tipos de técnicas evaluativas que se usan en la evaluación continua (EX, ET, TG, etc.), y se realizarán en las fechas y horas de evaluación final aprobadas por la Junta de Escuela para el presente curso y semestre, salvo aquellas actividades de evaluación de resultados del aprendizaje de difícil calificación en una prueba final. En este caso, se podrán realizar dichas actividades de evaluación a lo largo del curso.

La evaluación en la convocatoria extraordinaria se realizará exclusivamente a través del sistema de prueba global.

La calificación de la asignatura dependerá de la modalidad elegida por el alumno. En cualquier caso, la asignatura se aprobará cuando se obtenga una calificación mayor o igual al 50% de la puntuación total.

### Convocatoria ordinaria - Modalidad de evaluación progresiva:

La calificación de la asignatura se realizará del siguiente modo:

- 25% Ejercicios resueltos en el aula (en todas las sesiones)
- 80% Examen final

En el cronograma se han incluido 15 ejercicios en el aula. El número real de ejercicios podrá variar, dependiendo de cómo se vayan desarrollando las sesiones teóricas, siendo siempre mayor o igual a 8. Independientemente del número de ejercicios realizados, el peso de esta actividad será del 25%.

La aplicación proporciona un peso del 105.05% para las actividades de evaluación continua. La nota máxima será 10p, de modo que el alumno que haya obtenido 10p en todas las actividades de evaluación continua será evaluado con 10p.

### **Convocatoria ordinaria - Modalidad de sólo prueba final:**

La calificación de la asignatura se realizará del siguiente modo:

100% Examen final

### **Convocatoria extraordinaria:**

Independientemente de la modalidad elegida en la prueba ordinaria, la evaluación se realizará mediante un único examen final.

La calificación de la asignatura se realizará del siguiente modo:

- 100% Examen final

### **Activities and assessment criteria**

Students will be evaluated, by default, through progressive assessment. The student who wishes can apply for final test (formed by one or more activities of global evaluation of the subject).

The evaluation will check if the students have acquired the competences of the subject. Therefore, the evaluation by means of final test will use the same types of evaluation techniques that are used in the continuous evaluation (EX, ET, TG, etc.), and will be carried out in the dates and hours of final evaluation approved by the School Board for the current academic year and semester, except for those activities that evaluate learning outcomes that are difficult to score in a final test. In this case, these evaluation activities may be carried out throughout the course.

The evaluation in the extraordinary call will be made exclusively through the final test system.

The qualification of the subject will depend on the modality chosen by the student. In any case, the

subject will be past when a grade greater than or equal to 50% of the total score is obtained.

### **Ordinary call - Continuous evaluation modality:**

The qualification of the subject will be carried out in the following way:

- 25% Class work (all days)
- 80% Final exam

The schedule has included 15 exercises in the classroom. The actual number of exercises may vary, depending on how the theoretical sessions are developed, but it will always be higher or equal to 8. Regardless of the number of exercises performed, the weight of this activity will be 25%.

The application provides a weight of 105.05% for continuous assessment activities. The maximum grade will be 10p, so that the student who has obtained 10p in all continuous assessment activities will be evaluated with 10p.

### **Ordinary call - Modality of only global test:**

The qualification of the subject will be carried out in the following way:

- 100% Final exam

### **Extraordinary call:**

Regardless of the modality chosen in the ordinary test, the evaluation will be made through a single final exam.

The qualification of the subject will be carried out in the following way:

- 100% Final exam

## 8. Recursos didácticos

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Apuntes de Electricidad y Magnetismo, M.Calvo, J.L.Fernández Jambrina, L.de Haro, F. Las Heras. Editorial, ETSIT-UPM 1996.	Bibliografía	
Ingeniería electromagnética. Campos y Ondas, Carl T.A. Johnk. Editorial Limusa, 1992	Bibliografía	
Campos y Ondas Electromagnéticas, P. Lorrain, D. Corson. Editorial Selecc. Científicas, 1972.	Bibliografía	
Field and Waves in Communication Electronics, S. Ramo, J.R. Whinnery, T. Van Duzer. Editorial Wiley, 1993.	Bibliografía	
Electrodinámica y propagación de ondas de radio, V.V.Nikolski. Editorial MIR.1976	Bibliografía	
Engineering Electromagnetics, W.H. Hayt. Editorial McGraw-Hill, 1989.	Bibliografía	
Física tomo II (Lectures on Physics), Feynman, Leighton, Sands. Editorial Addison-Wesley, 1987	Bibliografía	

<a href="http://www.gr.ssr.upm.es/docencia/grado/eym/">http://www.gr.ssr.upm.es/docencia/grado/eym/</a>	Recursos web	
<a href="http://moodle.upm.es/titulaciones/oficiales/course/view.php?id=1156">http://moodle.upm.es/titulaciones/oficiales/course/view.php?id=1156</a>	Recursos web	
Aulas: designadas por Jefatura de Estudios con cañón de proyección	Equipamiento	

## 9. Otra información

---

### 9.1. Otra información sobre la asignatura

Esta asignatura es de carácter básico y supone un reto para los alumnos ya que deben tratar con campos escalares y vectoriales complejos, exigiéndoseles rigor en la notación empleada para formular los campos vectoriales.

Los profesores de Electromagnetismo somos conscientes de la dificultad que supone esta asignatura para los alumnos. Por ello recomendamos encarecidamente a los alumnos la asistencia a las sesiones teóricas.

Esta asignatura puede contribuir a aumentar la concienciación y la formación de nuestros alumnos en relación a la Agenda 2030 de Naciones Unidas y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

En algunos problemas se mostrará cómo diversas herramientas matemáticas se emplean en el modelado de los campos electromagnéticos, que permitirán a los alumnos familiarizarse con los modelos de transmisión /recepción necesarios para las comunicaciones sin soporte material.

En términos más generales, la matemática aplicada se emplea de forma exhaustiva en ingeniería y, en particular, incidirá en todo lo relativo a las infraestructuras de telecomunicaciones (ODS 9). La asignatura ayudará también a los subobjetivos 4.4: Aumentar considerablemente el número de personas con las competencias profesionales y técnicas necesarias para acceder al empleo y al emprendimiento; y 4.7: Asegurar que todos los estudiantes adquieran los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para promover el desarrollo sostenible.

Las tutorías se realizarán según la normativa vigente. Los alumnos concertarán con el profesor fecha y lugar para la tutoría.

Electromagnetism is a basic subject and it is a challenge for the students since they have to deal with complex scalar and vectorial fields, requiring them to be rigorous in the notation used to formulate the vectorial fields.

Electromagnetism professors are aware of the difficulty that this subject represents for the students. Therefore, we strongly recommend students to attend the theoretical sessions.

This subject can contribute to increase the awareness and training of our students in relation to the United Nations Agenda 2030 and its Sustainable Development Goals (SDGs).

Some problems will show how various mathematical tools are used in the modeling of electromagnetic fields, which will allow students to become familiar with the transmission/reception models needed for material-less communications.

More generally, applied mathematics is used extensively in engineering and, in particular, will have an impact on everything related to telecommunication infrastructures (SDO 9). The subject will also contribute to sub-objectives 4.4: To significantly increase the number of people with the professional and technical skills needed to access employment and entrepreneurship; and 4.7: To ensure that all students acquire the necessary theoretical and practical knowledge to promote sustainable development.

Tutorials will be conducted in accordance with current regulations. Students will arrange with the professor the date and place for the tutorial.