



POLITÉCNICA

CAMPUS  
DE EXCELENCIA  
INTERNACIONAL

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

**93000815 - Sistemas radar**

### PLAN DE ESTUDIOS

09AQ - Master Universitario En Ingenieria De Telecomunicacion

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2018/19 - Primer semestre

## Índice

---

### Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Conocimientos previos recomendados.....	2
4. Competencias y resultados de aprendizaje.....	2
5. Descripción de la asignatura y temario.....	3
6. Cronograma.....	8
7. Actividades y criterios de evaluación.....	10
8. Recursos didácticos.....	13

## 1. Datos descriptivos

---

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	93000815 - Sistemas radar
<b>No de créditos</b>	6 ECTS
<b>Carácter</b>	Optativa
<b>Curso</b>	Segundo curso
<b>Semestre</b>	Tercer semestre
<b>Período de impartición</b>	Septiembre-Enero
<b>Idioma de impartición</b>	Castellano
<b>Titulación</b>	09AQ - Master universitario en ingeniería de telecomunicación
<b>Centro en el que se imparte</b>	09 - Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación
<b>Curso académico</b>	2018-19

## 2. Profesorado

---

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

<b>Nombre</b>	<b>Despacho</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Horario de tutorías *</b>
Alberto Asensio Lopez (Coordinador/a)	C-423	alberto.asensio.lopez@upm.es	Sin horario. Concertar cita por correo electrónico
Javier Gismero Menoyo	C-419	javier.gismero@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

El plan de estudios Master Universitario en Ingeniería de Telecomunicacion no tiene definidas asignaturas previas recomendadas para esta asignatura.

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

- Antenas y Microondas
- Conceptos básicos de radares de onda continua y radares pulsados de vigilancia.
- Tratamiento digital de la señal

## 4. Competencias y resultados de aprendizaje

---

### 4.1. Competencias

CE5 - Capacidad para diseñar sistemas de radionavegación y de posicionamiento, así como los sistemas radar.

CG2 - Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio.

CG4 - Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.

CG5 - Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

CT3 - Capacidad para adoptar soluciones creativas que satisfagan adecuadamente las diferentes necesidades planteadas.

CT4 - Capacidad para trabajar de forma efectiva como individuo, organizando y planificando su propio trabajo, de forma independiente o como miembro de un equipo.

## 4.2. Resultados del aprendizaje

RA81 - Capacidad para dimensionar formas de onda para sistemas radar

RA79 - Capacidad para dimensionar e implementar procesadores de datos radar

RA76 - Habilidad de comunicación oral y escrita

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

El objetivo de la asignatura es transmitir al alumno los conceptos básicos de los radares modernos y sus aplicaciones.

El curso comenzará con la realización de dos prácticas de laboratorio, que permitirán al alumno recordar y afianzar los conceptos aprendidos en la asignatura de grado, Sistemas de Radiodeterminación (RDET), donde se imparten los principios de funcionamiento de los radares de onda continua y radares pulsados no coherentes sin modulación intra-pulso. En la asignatura RDET también se aborda la ecuación de alcance radar y la fluctuación de la sección radar de los blancos. Para los alumnos que no cursaron esa asignatura, esta actividad de laboratorio les puede permitir nivelarse con el resto.

En la primera práctica se analizarán y manejarán dos radares marinos de tecnologías diferentes: radar pulsado de vigilancia no coherente y radar pulsado de vigilancia con compresión de pulsos y tratamiento doppler. Este será el primer semestre que se utilice este segundo sistema, ya que ha sido una reciente adquisición para sustituir a otro equipo no coherente ya obsoleto. En cualquier caso con los dos sistemas se experimentará con blancos de oportunidad.

En la segunda práctica se utiliza un prototipo de radar para laboratorios docentes que incluye una mesa para simular blancos móviles de diferente sección radar. Este equipo puede emular diferentes tipos de sistemas radar y con diferentes formas de onda. En la segunda práctica se experimentará con un radar de onda continua.

En estas dos prácticas se digitalizarán los ecos reales de ambos sistemas, datos que serán utilizados por los alumnos para realizar dos trabajos implementando sencillos programas en MATLAB. Además de una breve memoria de estos dos trabajos o tareas el alumno deberá realizar una breve exposición oral de los mismos. Tanto

las prácticas como los trabajos son actividades que se realizan en grupos de 3 o 4 alumnos.

Los siguientes temas están relacionados con las diferentes formas de onda que son utilizados por los sistemas de última generación, y su correcta parametrización y procesado: FMCW-radar y compresión de pulsos. Al final de estos temas se realizará una tercera práctica de laboratorio con el entrenador radar donde se experimentará con blancos reales a escala, utilizando tanto señales pulsadas como señales de onda continua y frecuencia modulada. Se hará un especial énfasis en el efecto doppler para este tipo de señales, abriendo la puerta al procesado coherente de la señal. También se realizarán diferentes capturas de datos reales digitalizados para que los alumnos realicen un tercer trabajo. Los siguientes temas: caracterización de clutter, procesador de señal y técnicas CFAR llenarán de contenido esta tercera actividad.

Los dos últimos temas de la asignatura están dedicados al extractor y procesador de datos radar, y a los radares secundarios.

La última sesión del curso consistirá en la presentación de la interfaz hombre máquina de un radar de vigilancia moderno alimentado con datos reales y que permite visualizar las diferentes salidas de cada proceso: procesador de señal radar, extractor de datos y procesador de datos radar, y si se dispusiese de tiempo se presentaría a los alumnos el proyecto de investigación que en la actualidad está siendo desarrollado por el grupo de microondas y radar, y que versa sobre radares ubicuos.

## 5.2. Temario de la asignatura

### 1. Radar Marino

- 1.1. Introducción
- 1.2. Justificación operativa
- 1.3. Estructura del sistema
- 1.4. Equipos del laboratorio
- 1.5. Funcionalidades de los sistemas
- 1.6. Escenario de las prácticas
- 1.7. Captura de datos reales para el trabajo nº 1
- 1.8. Guión de realización de la práctica nº 1

### 2. Sistema entrenador radar Lab-Volt

- 2.1. Conceptos básicos
- 2.2. Descripción del Sistema
- 2.3. Módulo Transmisor
- 2.4. Módulo Receptor
- 2.5. Muestreador de Doble Canal
- 2.6. Antena parabólica y Pedestal de Antena
- 2.7. Sistema de posicionamiento de blancos
- 2.8. MONTAJE 1. RADAR de onda continua (CW-RADAR) y efecto Doppler Sistema de posicionamiento de blancos
- 2.9. Captura de datos reales para el trabajo nº 2
- 2.10. Guión de realización de la práctica nº 2

### 3. Radares de Onda Continua y Frecuencia Modulada

- 3.1. Principio de Funcionamiento
- 3.2. CW-FM Radar. Modulación FSK
- 3.3. CW-FM Radar. Modulación Diente de Sierra
- 3.4. CW-FM Radar. Modulación Onda Triangular
- 3.5. CW-FM Radar. Modulación Mixta

- 3.6. Ejercicio
- 4. Técnicas de Compresión de Pulsos
  - 4.1. Introducción. Filtro Adaptado
  - 4.2. Señal Chirp. Control de los lóbulos secundarios
  - 4.3. Implementación Digital del Filtro Adaptado. Ejemplos Matlab
  - 4.4. Ejercicio
  - 4.5. Alternativas a la forma a la señal chirp. Modulación de Fase
  - 4.6. Derramping
  - 4.7. Resolución Sintética en Distancia. Saltos de Frecuencia
- 5. Sistema entrenador radar Lab-Volt . Parte 2
  - 5.1. MONTAJE 2. RADAR pulsado
  - 5.2. La pantalla A-SCOPE
  - 5.3. La relación Distancia-Retardo
  - 5.4. MONTAJE 3. RADAR FM-CW
  - 5.5. Captura de datos reales para el trabajo nº 3
  - 5.6. Guion de realización de la práctica nº 3
- 6. Caracterización de Clutter
  - 6.1. Introducción
  - 6.2. Efectos del Clutter en un sistema radar
  - 6.3. Tipos de Clutter
  - 6.4. Parámetros característicos del Clutter
  - 6.5. Ejercicio
- 7. Procesador de Señal Radar. Integradores
  - 7.1. Estructuras de Procesadores de Señal
  - 7.2. Procesado Coherente. MTI vs MTD
  - 7.3. Parámetros Característicos del Procesado Coherente
  - 7.4. Entrelazado de Modos. Agilidad y STAGGER
  - 7.5. Procesado No Coherente
  - 7.6. Integración Binaria



### 7.7. Ejercicio

## 8. Técnicas CFAR

### 8.1. CFAR Espacial. CA-CFAR

### 8.2. Pérdidas CFAR

### 8.3. CFAR Temporal. Mapa de Clutter

### 8.4. SCV. Factor de Visibilidad bajo Clutter

### 8.5. Ejercicio

## 9. Extractor y Procesador de Datos Radar

### 9.1. Extractor de Datos

### 9.2. Técnica de Ventana Deslizante

### 9.3. Técnica de Ventana Deslizante + Técnica Monopulso

### 9.4. Procesador de Datos Radar

### 9.5. Filtros de Seguimiento

## 10. Sistemas de Control de Tráfico Aéreo (ATC). Radar Secundario

### 10.1. ATC. Introducción

### 10.2. SSR clásico. Modos A/C

### 10.3. SSR clásico. Garbling y Fruit

### 10.4. SSR clásico. Determinación del azimut por ventana deslizante

### 10.5. SSR clásico. Balance de enlace. Estructura de receptores

### 10.6. SSR clásico. Precisión en la medida de la distancia

### 10.7. SSR Modo Selectivo. Principio de operación

### 10.8. SSR Modo S. Formato de las señales

### 10.9. SSR Modo S. Squitters. ADSB

## 6. Cronograma

### 6.1. Cronograma de la asignatura \*

Sem	Actividad presencial en aula	Actividad presencial en laboratorio	Otra actividad presencial	Actividades de evaluación
1	<p><b>Presentación de la asignatura</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Temas 1 y 2</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
2	<p><b>Tema 3</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>	<p><b>Práctica nº 1 (dos turnos)</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
3	<p><b>Tema 3</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>	<p><b>Práctica nº 2 (dos turnos)</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
4	<p><b>Tema 3</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Tema 4</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
5	<p><b>Tema 4</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 4</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
6	<p><b>Tema 5</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>	<p><b>Práctica nº 3 (cuatro turnos)</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
7	<p><b>Tema 6</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			<p><b>Entrega de la Memorias de las práctica</b> TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación continua y sólo prueba final Duración: 00:00</p>
8	<p><b>Tema 7</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
9	<p><b>Tema 7</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 7</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			<p><b>Prueba de Seguimiento. Presentación Primer Trabajo</b> PG: Técnica del tipo Presentación en Grupo Evaluación continua Duración: 02:00</p>

10	<p><b>Tema 8</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 8</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
11	<p><b>Tema 9</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
12	<p><b>Tema 10</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			<p><b>Prueba de Seguimiento. Presentación Segundo Trabajo</b> PG: Técnica del tipo Presentación en Grupo Evaluación continua Duración: 02:00</p>
13	<p><b>Tema 10</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
14				
15				
16				<p><b>Prueba de Seguimiento. Presentación Tercer Trabajo</b> PG: Técnica del tipo Presentación en Grupo Evaluación continua Duración: 01:00</p>
17				<p><b>Prueba Final</b> PI: Técnica del tipo Presentación Individual Evaluación sólo prueba final Duración: 01:00</p> <p><b>Examen Tipo Test Temas 9 y 10</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Duración: 01:00</p> <p><b>Examen Tipo Test Temas 9 y 10</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final Duración: 01:00</p>

Las horas de actividades formativas no presenciales son aquellas que el estudiante debe dedicar al estudio o al trabajo personal.

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.

## 7. Actividades y criterios de evaluación

### 7.1. Actividades de evaluación de la asignatura

#### 7.1.1. Evaluación continua

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
7	Entrega de la Memorias de las práctica	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	Presencial	00:00	10%	5 / 10	CG2
9	Prueba de Seguimiento. Presentación Primer Trabajo	PG: Técnica del tipo Presentación en Grupo	Presencial	02:00	20%	5 / 10	CG4 CT3 CE5 CG2
12	Prueba de Seguimiento. Presentación Segundo Trabajo	PG: Técnica del tipo Presentación en Grupo	Presencial	02:00	20%	5 / 10	CG4 CT3 CE5 CG2
16	Prueba de Seguimiento. Presentación Tercer Trabajo	PG: Técnica del tipo Presentación en Grupo	Presencial	01:00	40%	5 / 10	CG4 CT3 CE5 CG2
17	Examen Tipo Test Temas 9 y 10	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:00	10%	5 / 10	CE5 CG2

#### 7.1.2. Evaluación sólo prueba final

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
7	Entrega de la Memorias de las práctica	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	Presencial	00:00	10%	5 / 10	CG2
17	Prueba Final	PI: Técnica del tipo Presentación Individual	Presencial	01:00	80%	5 / 10	CG4 CT3 CE5 CG2

17	Examen Tipo Test Temas 9 y 10	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:00	10%	5 / 10	CE5 CG2
----	-------------------------------	-------------------------------------	------------	-------	-----	--------	------------

### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Entrega de las Memorias de las Prácticas	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	Presencial	00:00	10%	5 / 10	CG2
Prueba Final	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	01:00	80%	5 / 10	CG4 CT3 CE5 CG2
Examen Tipo Test Temas 9 y 10	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:00	10%	5 / 10	CE5 CG2

## 7.2. Criterios de evaluación

Los estudiantes serán evaluados, por defecto, mediante evaluación continua. El estudiante que desee renunciar a la evaluación continua y optar a la evaluación por prueba final (formada por una o más actividades de evaluación global de la asignatura), deberá completar en el Moodle de la asignatura la tarea titulada "Renuncia a la evaluación continua" antes de la tercera semana del curso (la fecha concreta se anunciará en el Moodle). 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 final.

La realización de las prácticas de laboratorio es obligatoria para todos los alumnos independientemente del tipo de evaluación y convocatoria que elijan.

La calificación de la asignatura para alumnos con evaluación continua se realizará del siguiente modo:

- 80% Presentación oral y escrita de los tres trabajos. La documentación de los trabajos será la presentación PowerPoint utilizada por los alumnos, complementada con las explicaciones precisas para cada caso que deben incluirse en las notas de orador de la presentación.
- 10% Realización y Memorias de las prácticas de laboratorio.
- 10% Examen Tipo Test Temas 9 y 10

La evaluación por prueba final y por convocatoria extraordinaria consistirá en la realización de una práctica de laboratorio donde el alumno obtendrá un conjunto de datos digitalizados. Con esa información deberá realizar y presentar en un plazo máximo de 5 días un trabajo de orientación similar a los realizados para los alumnos de evaluación continua.

La calificación de la asignatura para alumnos con evaluación del sistema prueba final se realizará del siguiente modo:

- 80% Presentación oral y escrita del trabajo.
- 10% Realización y Memorias de las prácticas de laboratorio.
- 10% Examen Tipo Test Temas 9 y 10

## 8. Recursos didácticos

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Principles of Modern Radar, M.A. Richards	Bibliografía	
Secondary Surveillance Radar M.C. Stevens	Bibliografía	
Introduction to Radar analysis B. Mahalza	Bibliografía	
Radar Principles N. Levanon	Bibliografía	
Introduction to Radar Systems, M. Skolnik	Bibliografía	
Documentación de las Prácticas de Laboratorio, J.Gismero y A.Asensio	Otros	
Documentación temas 1-10, J.Gismero y A.Asensio	Otros	
Radares Marinos JRC	Equipamiento	Sistemas radar en bandaX comerciales utilizados en la primera práctica de laboratorio
Entrenador Radar LAB_VOLT	Equipamiento	Prototipo Radar de Laboratorio para labores docentes. Incluye los principales subsistemas de un radar, y una plataforma que permite simular blancos reales con diferentes sección radar,