



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

**93001027 - Sistemas Empotrados Avanzados**

### PLAN DE ESTUDIOS

09AZ - Master Universitario En Ingenieria De Sistemas Electronicos

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2021/22 - Segundo semestre

## Índice

---

### Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Competencias y resultados de aprendizaje.....	2
4. Descripción de la asignatura y temario.....	4
5. Cronograma.....	7
6. Actividades y criterios de evaluación.....	9
7. Recursos didácticos.....	12

## 1. Datos descriptivos

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	93001027 - Sistemas Empotrados Avanzados
<b>No de créditos</b>	4 ECTS
<b>Carácter</b>	Optativa
<b>Curso</b>	Primer curso
<b>Semestre</b>	Segundo semestre
<b>Período de impartición</b>	Febrero-Junio
<b>Idioma de impartición</b>	Castellano
<b>Titulación</b>	09AZ - Master Universitario en Ingeniería de Sistemas Electronicos
<b>Centro responsable de la titulación</b>	09 - Escuela Tecnica Superior De Ingenieros De Telecomunicacion
<b>Curso académico</b>	2021-22

## 2. Profesorado

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

Nombre	Despacho	Correo electrónico	Horario de tutorías *
Jose Manuel Moya Fernandez (Coordinador/a)	B-104.1B	jm.moya@upm.es	M - 13:00 - 15:00 J - 09:00 - 10:00 J - 13:00 - 16:00 Preferente: J 9:00-10:00
Patricia Arroba Garcia		p.arroba@upm.es	Sin horario.

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

## 3. Competencias y resultados de aprendizaje

---

### 3.1. Competencias

CB07 - 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

CB08 - Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios

CE01 - Capacidad para evaluar las ventajas e inconvenientes de las alternativas tecnológicas en el diseño o fabricación de sistemas electrónicos analógicos, digitales, centrales o distribuidos.

CE02 - Capacidad para aplicar herramientas, técnicas y metodologías avanzadas de diseño de sistemas o subsistemas electrónicos

CE04 - Capacidad para diseñar un dispositivo, sistema, aplicación o servicio que cumpla unas especificaciones dadas, empleando un enfoque sistémico y multidisciplinar e integrando los módulos y herramientas avanzadas disponibles en el campo de la Ingeniería Electrónica.

CG08 - Aplicar metodologías, procedimientos, herramientas y normas del estado del arte para la creación de nuevos componentes tecnológicos; construir nuevas hipótesis y modelos, evaluarlos y aplicarlos a la resolución de problemas.

CG09 - Comunicar juicios, y conocimientos a audiencias especializadas y no especializadas, de una manera razonada, clara y sin ambigüedades.

## 3.2. Resultados del aprendizaje

RA1 - Conocimientos cualitativos y cuantitativos para la selección e interconexión de subsistemas en el diseño de sistemas electrónicos analógicos o digitales

RA36 - Capacidad de analizar alternativas de diseño existentes.

RA43 - Conocimiento de métodos de recogida de información mediante sensores inteligentes

RA10 - Capacidad de comunicación fluida tanto a nivel escrito como oral.

RA12 - Conocimiento de los más recientes avances del estado del arte en circuitos y sistemas electrónicos

RA19 - Comprender las implicaciones del diseño conjunto con elementos hardware y software

RA14 - Conocimientos cualitativos y cuantitativos del diseño de sistemas electrónicos

RA18 - Capacidad de analizar y diseñar sistemas electrónicos empotrados

RA2 - Capacidad para diseñar, implementar y probar sistemas electrónicos avanzados, analógicos o digitales, de acuerdo con unas especificaciones imperfectas de carácter multidisciplinar.

RA20 - Conocimientos avanzados de los aspectos relacionados con restricciones en los sistemas electrónicos

RA39 - Capacidad de analizar y diseñar sistemas empotrados distribuidos

RA40 - Conocimiento de procedimientos de optimización

RA41 - Capacidad de estudiar estrategias de seguridad en sistemas empotrados distribuidos.

RA42 - Conocimiento de las implicaciones del consumo y otras restricciones en sistemas empotrados

RA9 - Conocimientos de trabajo en equipo, iniciativa, liderazgo

RA59 - Arquitectura de un sistema utilizando múltiples sistemas empotrados

## 4. Descripción de la asignatura y temario

---

### 4.1. Descripción de la asignatura

La asignatura de Sistemas Empotrados Avanzados tiene como objetivo complementar la visión ofrecida por la asignatura Sistemas Empotrados en aspectos de máxima importancia para el mercado actual de la electrónica, y en especial en todo lo relacionado con Internet de las Cosas (Internet of Things, IoT) y Ciudades Inteligentes.

Si en la asignatura de Sistemas Empotrados se estudiaba la optimización de los sistemas electrónicos para el cumplimiento estricto de requisitos de tiempo, en esta asignatura se estudian otros tres criterios de optimización de máxima importancia en la actualidad: consumo de energía, memoria y seguridad (temas 2, 3 y 5).

- El consumo de energía es el criterio principal de diseño para todos los dispositivos móviles.
- Aunque la memoria cada vez es más barata y abundante, con frecuencia necesitamos cambiar el firmware de sistemas existentes para realizar más funcionalidad pero con la misma memoria. Por otro lado, la reducción de la memoria supone también una reducción de coste (fundamental para los dispositivos de IoT), y una reducción de consumo.
- Por último, durante los últimos años hemos vivido varios ataques que han supuesto una interrupción de servicio de partes significativas de Internet, con un impacto económico importantísimo. Muchos de estos ataques se han iniciado por vulnerabilidades en dispositivos de IoT (cámaras, bombillas inteligentes, redes de sensores, routers WiFi, etc.). La seguridad se está convirtiendo en el aspecto clave para el despliegue de servicios en ciudades y edificios.

Por otro lado, la mayor parte de los sistemas electrónicos actuales están conectados y forman sistemas distribuidos. Por esa razón, es importante estudiar cómo asegurar el comportamiento correcto del sistema distribuido y cómo optimizar el sistema completo aprovechando la colaboración entre los nodos (tema 4).

Por último, en este mundo de la Internet de las Cosas, los sensores son los que están adquiriendo el papel protagonista, y muchos de esos sensores son microsistemas (tema 6). Es importante estudiar cómo son y cómo funcionan estos sensores para conocer la oferta del mercado y sus límites, y para interpretar correctamente los valores que dan.

Durante el curso se realizan también 4 prácticas con redes de dispositivos inalámbricos de bajo coste, utilizando tecnologías actuales (Sigfox, NB-IOT, UWB), con aplicaciones de máximo interés para IoT y ciudades inteligentes

(seguimiento de objetos y personas en interiores y en exteriores), y con técnicas avanzadas de colaboración, como la odometría social.

## 4.2. Temario de la asignatura

1. Introducción a la asignatura y repaso de conceptos previos
  - 1.1. Planificación de sistemas de tiempo real
2. Verificación formal de máquinas de estados con model checking
  - 2.1. Especificación de propiedades con Linear Temporal Logic
  - 2.2. Patrones de especificación
  - 2.3. Model checking
  - 2.4. Equivalencia de modelos
3. Optimización de consumo
  - 3.1. Diseño orientado a reducir el consumo
  - 3.2. Criterios de selección de componentes
  - 3.3. Planificación de tiempo real con DVFS
  - 3.4. Optimización del consumo en la memoria
4. Sistemas distribuidos
  - 4.1. Modelos de sistemas
  - 4.2. Redes de comunicaciones
  - 4.3. Comunicación entre procesos
  - 4.4. Invocación remota
  - 4.5. Comunicación indirecta
  - 4.6. Tiempo y estado global
  - 4.7. Coordinación y consenso
  - 4.8. Computación móvil y ubícua
5. Seguridad
  - 5.1. Introducción y criptografía
  - 5.2. Seguridad en protocolos y redes

5.3. Software seguro

5.4. Flujo seguro de información

5.5. Ataques de canal lateral y contramedidas

6. Introducción a los microsistemas

6.1. Introducción y antecedentes

6.2. Materiales y fabricación

6.3. Microsistemas físicos: temperatura, presión, acústicos, inerciales

6.4. Microsistemas ópticos: fotodetectores y displays

6.5. Microsistemas químicos y biológicos

6.6. Mercado de los microsistemas



## 5. Cronograma

### 5.1. Cronograma de la asignatura \*

Sem	Actividad presencial en aula	Actividad presencial en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	<b>1. Introducción y repaso. Planificación de tiempo real</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
2	<b>Ejercicios</b> Duración: 02:30 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			<b>T1. Test de conceptos básicos planificación tiempo real</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua Presencial Duración: 00:30
3	<b>2. Verificación formal (1/2)</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
4	<b>2. Verificación formal (2/2)</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
5	<b>Debate sobre la práctica</b> Duración: 00:30 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas <b>Ejercicios</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			<b>P2. Entrega práctica verificación formal</b> TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación continua No presencial Duración: 00:00 <b>T2. Test de conceptos básicos Verificación formal</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua Presencial Duración: 00:30
6	<b>3. Optimización de consumo (1/2)</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
7	<b>3. Optimización de consumo (2/2)</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
8	<b>Debate sobre la práctica</b> Duración: 00:30 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas <b>Ejercicios</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			<b>T3. Test de conceptos básicos optimización de consumo</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua Presencial Duración: 00:30 <b>P3. Entrega práctica de bajo consumo en github</b> TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación continua No presencial Duración: 00:00

9	<b>4. Sistemas distribuidos (1/2)</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
10	<b>4. Sistemas distribuidos (2/2)</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
11	<b>Debate sobre la práctica</b> Duración: 00:30 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas  <b>Ejercicios</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			<b>T4. Test de conceptos básicos de sistemas distribuidos</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua Presencial Duración: 00:30  <b>P4. Entrega de la práctica de sistemas distribuidos en github</b> TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación continua No presencial Duración: 00:00
12	<b>5. Seguridad (1/2)</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
13	<b>5. Seguridad (2/2)</b> Duración: 02:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			<b>T5. Test de conceptos básicos de seguridad</b> ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua Presencial Duración: 00:30
14	<b>6. Introducción a los microsistemas</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
15				
16				<b>Examen final evaluación continua</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 No presencial Duración: 03:00  <b>Entrega de trabajo en grupo acordado con el equipo docente de la asignatura y presentación</b> TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación sólo prueba final Presencial Duración: 00:30
17				

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.

## 6. Actividades y criterios de evaluación

### 6.1. Actividades de evaluación de la asignatura

#### 6.1.1. Evaluación continua

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
2	T1. Test de conceptos básicos planificación tiempo real	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	Presencial	00:30	0%	/ 10	
5	P2. Entrega práctica verificación formal	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	00:00	10%	/ 10	CB08 CG08 CG09 CE01 CB07 CE02 CE04
5	T2. Test de conceptos básicos Verificación formal	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	Presencial	00:30	5%	/ 10	
8	T3. Test de conceptos básicos optimización de consumo	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	Presencial	00:30	5%	/ 10	
8	P3. Entrega práctica de bajo consumo en github	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	00:00	10%	/ 10	CB08 CG08 CG09 CE01 CB07 CE02 CE04
11	T4. Test de conceptos básicos de sistemas distribuidos	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	Presencial	00:30	5%	/ 10	
11	P4. Entrega de la práctica de sistemas distribuidos en github	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	00:00	10%	/ 10	

13	T5. Test de conceptos básicos de seguridad	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	Presencial	00:30	5%	/ 10	
16	Examen final evaluación continua	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	50%	4 / 10	CB08 CG08 CG09 CE01 CB07 CE02 CE04

### 6.1.2. Evaluación sólo prueba final

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
16	Examen final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	No Presencial	03:00	80%	5 / 10	CB08 CG08 CG09 CE01 CB07 CE02 CE04
16	Entrega de trabajo en grupo acordado con el equipo docente de la asignatura y presentación	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	Presencial	00:30	20%	/ 10	CB08 CG08 CG09 CE01 CB07 CE02 CE04

### 6.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Examen final extraordinario	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	80%	5 / 10	CB08 CG08 CG09 CE01 CB07 CE02 CE04

Entrega del trabajo en grupo acordado con el equipo docente de la asignatura y presentación	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	Presencial	00:30	20%	/ 10	CB08 CG08 CG09 CE01 CB07 CE02 CE04
---------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------	------------	-------	-----	------	------------------------------------------------------

## 6.2. 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 comunicarlo por escrito, a través del formulario habilitado para tal efecto en el Moodle de la asignatura, antes del 1 de marzo.

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.

**CONVOCATORIA ORDINARIA: MODALIDAD EVALUACIÓN CONTINUA:** La asignatura se aprobará cuando se obtenga una calificación mayor o igual a 5 puntos sobre un total de 10. Dicha calificación es la suma de las calificaciones correspondientes a las diferentes actividades de evaluación (test de cada tema, entregas de código por github y examen final teórico-práctico por escrito). Además, para poder aprobar en la modalidad de evaluación continua, es necesario obtener una nota mínima de 4 puntos (sobre 10) en el examen escrito que se realizará en la convocatoria oficial.

**CONVOCATORIA ORDINARIA: EVALUACIÓN MEDIANTE UNA ÚNICA PRUEBA FINAL:** el 80% de la calificación de los alumnos que presenten el escrito arriba referido se otorgará en función de una única prueba final a celebrar en la convocatoria oficial. Además, es necesario haber presentado por github, antes del día del examen, el código

correspondiente a un trabajo en grupo que debe acordarse con el equipo docente de la asignatura antes de la semana 10, sobre el que se realizarán algunas preguntas de control en el examen. Este trabajo supone un 20% de la nota final. La contestación incorrecta de las preguntas de control en el examen supone la anulación de la práctica. Para poder aprobar en la modalidad de prueba final, es necesario obtener una nota mínima de 5 puntos (sobre 10) en el examen escrito

CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA: la evaluación de la asignatura en su convocatoria extraordinaria se realizará de la misma forma que la modalidad de evaluación mediante una única prueba final.

## 7. Recursos didácticos

---

### 7.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
E.A. Lee, S.A. Seshia, ?Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach?, 2015	Bibliografía	
G. Colouris et al., ?Distributed systems: Concepts and Design?, 2012	Bibliografía	
Moodle de la asignatura	Recursos web	