

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

2025/26 - 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.....	6
6. Actividades y criterios de evaluación.....	9
7. Recursos didácticos.....	13
8. Otra información.....	14

1. Datos descriptivos

1.1. Datos de la asignatura

Nombre de la asignatura	93001027 - Sistemas Empotrados Avanzados
No de créditos	4 ECTS
Carácter	Optativa
Curso	Primer curso
Semestre	Segundo semestre
Período de impartición	Febrero-Junio
Idioma de impartición	Castellano
Titulación	09AZ - Master Universitario en Ingenieria de Sistemas Electronicos
Centro responsable de la titulación	09 - E.T.S. De Ingenieros De Telecomunicacion
Curso académico	2025-26

2. Profesorado

2.1. Profesorado implicado en la docencia

Nombre	Despacho	Correo electrónico	Horario de tutorías *
Patricia Arroba Garcia		p.arroba@upm.es	Sin horario.
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

* 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

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

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.

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 varias 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 planificación de sistemas de tiempo real con Rust
 - 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 ubíqua

5. Cronograma

5.1. Cronograma de la asignatura *

Sem	Actividad tipo 1	Actividad tipo 2	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	1. Introducción a Rust y planificación de tiempo real Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
2	1. Introducción a Rust y planificación de tiempo real Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
3	Ejercicios Duración: 02:45 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas T1. Test de conceptos básicos planificación tiempo real Duración: 00:15 OT: Otras actividades formativas / Evaluación			T1. Test de conceptos básicos planificación tiempo real ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación Progresiva Presencial Duración: 00:00
4	2. Verificación formal (1/2) Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
5	2. Verificación formal (2/2) Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
6	Ejercicios Duración: 02:45 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas T2. Test de conceptos básicos Verificación formal Duración: 00:15 OT: Otras actividades formativas / Evaluación			T2. Test de conceptos básicos Verificación formal ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación Progresiva Presencial Duración: 00:00
7	3. Optimización de consumo (1/2) Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
8	3. Optimización de consumo (2/2) Duración: 02:45 LM: Actividad del tipo Lección Magistral P1. Test de práctica 1 (verificación formal) Duración: 00:15 OT: Otras actividades formativas / Evaluación			P1. Test de práctica 1 (verificación formal) EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Progresiva Presencial Duración: 00:00

9	Ejercicios Duración: 02:45 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas T3. Test de conceptos básicos optimización de consumo Duración: 00:15 OT: Otras actividades formativas / Evaluación		T3. Test de conceptos básicos optimización de consumo ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación Progresiva Presencial Duración: 00:00
10	4. Sistemas distribuidos (1/2) Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral		
11	4. Sistemas distribuidos (2/2) Duración: 02:45 LM: Actividad del tipo Lección Magistral P2. Test de práctica 2 (optimización de consumo) Duración: 00:15 OT: Otras actividades formativas / Evaluación		P2. Test de práctica 2 (optimización de consumo) EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Progresiva Presencial Duración: 00:00
12	T4. Test de conceptos básicos de sistemas distribuidos Duración: 00:15 OT: Otras actividades formativas / Evaluación 5. Seguridad en sistemas empotrados Duración: 02:30 LM: Actividad del tipo Lección Magistral T5. Test de conceptos básicos de seguridad Duración: 00:15 OT: Otras actividades formativas / Evaluación		T4. Test de conceptos básicos de sistemas distribuidos ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación Progresiva Presencial Duración: 00:00 T5. Test de conceptos básicos de seguridad ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación Progresiva Presencial Duración: 00:00
13	P3. Test de práctica 3 (consenso distribuido) Duración: 00:15 OT: Otras actividades formativas / Evaluación Ejercicios prácticos Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas		P3. Test de práctica 3 (consenso distribuido) EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Progresiva Presencial Duración: 00:00
14			
15			
16			
17			Examen final evaluación continua EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Progresiva Presencial Duración: 03:00 Examen final EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación Global Presencial Duración: 03:00 Examen final de prácticas

EX: Técnica del tipo Examen Escrito
Evaluación Global
Presencial
Duración: 00:45

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.

6. Actividades y criterios de evaluación

6.1. Actividades de evaluación de la asignatura

6.1.1. Evaluación (progresiva)

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
3	T1. Test de conceptos básicos planificación tiempo real	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	Presencial	00:00	4%	0 / 10	CG08 CB07 CE02 CE01
6	T2. Test de conceptos básicos Verificación formal	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	Presencial	00:00	4%	0 / 10	CG08 CB07 CE02 CE01
8	P1. Test de práctica 1 (verificación formal)	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:00	10%	0 / 10	CB08 CG08 CG09 CB07 CE04 CE02 CE01
9	T3. Test de conceptos básicos optimización de consumo	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	Presencial	00:00	4%	0 / 10	CG08 CB07 CE02 CE01
11	P2. Test de práctica 2 (optimización de consumo)	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:00	10%	0 / 10	CB08 CG08 CG09 CB07 CE04 CE02 CE01
12	T4. Test de conceptos básicos de sistemas distribuidos	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	Presencial	00:00	4%	0 / 10	CG08 CB07 CE02 CE01
12	T5. Test de conceptos básicos de seguridad	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	Presencial	00:00	4%	0 / 10	CG08 CB07 CE02 CE01

13	P3. Test de práctica 3 (consenso distribuido)	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:00	10%	0 / 10	CG08 CB07 CE02 CE01
17	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. 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	70%	4 / 10	CG08 CB08 CG09 CE01 CB07 CE02 CE04
17	Examen final de prácticas	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:45	30%	0 / 10	CG09 CE01 CB07 CE02 CG08 CB08 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	70%	5 / 10	CB08 CG08 CG09 CE01 CB07 CE02 CE04

Examen de prácticas	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:45	30%	0 / 10	CB08 CG08 CG09 CE01 CB07 CE02 CE04
---------------------	-------------------------------------	------------	-------	-----	--------	--

6.2. Criterios de evaluación

La evaluación comprobará si los estudiantes han adquirido las competencias de la asignatura. Por tanto, la evaluación en las convocatorias ordinaria y extraordinaria usarán los mismos tipos de técnicas evaluativas.

CONVOCATORIA ORDINARIA: Los estudiantes serán evaluados mediante el sistema de evaluación progresiva que consistirá en las siguientes actividades:

1. Tests de conceptos básicos:

Los tests de conceptos básicos se realizarán en el Moodle de la asignatura de forma presencial en el aula y en total supondrán un 20% de la nota final, distribuyéndose el peso homogéneamente entre todos los tests realizado. Cada test se realizará al finalizar la unidad didáctica de los contenidos que se evalúan, sin avisar, en horario de clase. Si no da tiempo a realizar alguno de los tests durante el curso, se realizará junto con la prueba de examen final.

Estos tests serán actividades de evaluación no recuperables en la convocatoria ordinaria. Si un estudiante no puede asistir a uno de estos tests por una causa justificada contemplada en la normativa de evaluación de la UPM, tendrá derecho a ser evaluado del mismo durante el examen final de la convocatoria ordinaria. Para solicitar la recuperación de la prueba, el estudiante enviará un correo electrónico al coordinador, adjuntando el justificante correspondiente.

2. Entrega de las prácticas:

Los estudiantes, realizarán en grupo 3 prácticas a lo largo del curso. La evaluación de cada práctica se realizará

mediante una prueba individual específica de tipo test, que supondrá un 10% de la nota final (para cada práctica). Si un alumno ha obtenido una calificación media de al menos 5 puntos sobre 10, el bloque de prácticas se considerará liberado, y podrá mantener la calificación obtenida para la convocatoria extraordinaria.

3. Examen final:

El examen final será de tipo examen escrito y tendrá un carácter teórico-práctico. Esta prueba supondrá un 50% de la nota final y se realizará en la convocatoria oficial propuesta por la Junta de escuela. Para poder aprobar en la convocatoria ordinaria, es necesario obtener una nota mínima de 4 puntos (sobre 10) en el examen final.

Examen final de prácticas:

Si algún estudiante no ha realizado la entrega de las prácticas durante el curso, podrá realizar la evaluación por examen final de prácticas. Esta actividad de evaluación será individual para cada estudiante. Consistirá en una prueba específica de tipo test, que supondrá un 30% de la nota final (para cada práctica). Esta actividad de evaluación sustituye a la realización de los 3 tests de prácticas durante el curso.

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 conceptos básicos, entregas de las prácticas o examen final de prácticas y examen final teórico-práctico por escrito).

CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA: la evaluación de la asignatura en su convocatoria extraordinaria consistirá en las siguientes actividades:

1. Examen final:

El examen final será de tipo examen escrito y tendrá un carácter teórico-práctico. Esta prueba supondrá un 70% de la nota final y se realizará en la convocatoria oficial propuesta por la Junta de escuela. Para poder aprobar en la convocatoria extraordinaria, es necesario obtener una nota mínima de 5 puntos (sobre 10) en el examen final.

2. Examen final de prácticas.

Si algún estudiante no ha realizado la entrega de las prácticas durante el curso, podrá realizar la evaluación de esta parte por examen final de prácticas. Esta actividad de evaluación será individual para cada estudiante. Consistirá en una prueba específica de tipo test, que supondrá un 30% de la nota final (para cada práctica). Esta actividad de evaluación sustituye a la realización de los 3 tests de prácticas durante el curso.

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	

8. Otra información

8.1. Otra información sobre la asignatura

La asignatura se relaciona con los ODS 9 y 11.