ANX-PR/CL/001-01
GUÍA DE APRENDIZAJE

ASIGNATURA

93001021 - Sistemas Empotrados

PLAN DE ESTUDIOS

09AZ - Master Universitario En Ingenieria De Sistemas Electronicos

CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2023/24 - 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....6
7. Actividades y criterios de evaluación....9
8. Recursos didácticos....11
9. Otra información....12

1. Datos descriptivos

1.1. Datos de la asignatura

Nombre de la asignatura	93001021 - Sistemas Empotrados
No de créditos	4 ECTS
Carácter	Obligatoria
Curso	Primer curso
Semestre	Primer semestre
Período de impartición	Septiembre-Enero
Idioma de impartición	Castellano
Titulación	09AZ - Master Universitario en Ingenieria de Sistemas Electronicos
Centro responsable de la titulación	09 - Escuela Tecnica Superior De Ingenieros De Telecomunicacion
Curso académico	2023-24

2. Profesorado

2.1. Profesorado implicado en la docencia

Nombre	Despacho	Correo electrónico	Horario de tutorías *
Pedro Jose Malagon Marzo	B-113	pedro.malagon.marzo@upm.es	Sin horario. Solicitar tutorías concertándolas por correo electrónico
Alvaro Araujo Pinto (Coordinador/a)	B-104.1b	alvaro.araujo@upm.es	X - 12:00 - 14:00 Para cualquier otra hora, 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 Ingenieria de Sistemas Electronicos no tiene definidas asignaturas previas recomendadas para esta asignatura.

3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

- Lenguaje de programación C: 11 primeros temas del tutorial [https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-087-practical-programming-in-c-january-iap-2010/]

- Electrónica digital básica

4. Competencias y resultados de aprendizaje

4.1. Competencias

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.

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.

CE06 - Capacidad para diseñar un sistema electrónico digital de complejidad media-alta empleando una plataforma basada en dispositivos programables, empleando un lenguaje de programación o aplicando metodologías, estrategias y herramientas CAD para la integración o el codiseño de componentes hardware y software.

4.2. Resultados del aprendizaje

RA13 - Capacidad de aplicar avances a la investigación e innovación en sistemas electrónicos

RA17 - Conocimiento de la normativa aplicable al diseño y uso de sistemas electrónicos

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

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

RA38 - Capacidad de analizar sistemas basados en procesadores

RA39 - Capacidad de analizar y diseñar sistemas empotrados distribuidos

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

RA14 - Conocimientos cualitativos y cuantitativos del diseño de sistemas electrónicos

5. Descripción de la asignatura y temario

5.1. Descripción de la asignatura

Este curso contempla dos aspectos de manera simultánea: computación y restricciones. Está claro que los sistemas de computación tienen un impacto muy importante en nuestras vidas, y está claro que tod@ ingenier@ o científic@ debe tener unos conocimientos básicos sobre su funcionamiento interno. Pero, ¿por qué deberíamos preocuparnos de las restricciones?

Los sistemas empotrados, como cualquier sistema de computación, tienen que realizar una funcionalidad. Pero también tienen que cumplir unas restricciones a menudo muy estrictas:

- Restricciones de tiempo: El ABS de un coche tiene que activar los frenos en un tiempo muy corto para evitar accidentes.
- Una reducción en los requisitos de memoria y tamaño implica dispositivos más ligeros, más portables y más baratos.
- Los teléfonos móviles, los dispositivos multimedia portátiles y los dispositivos wearables suelen tener restricciones muy fuertes de consumo de energía.
- Por último, con tan escasos recursos, la seguridad se convierte en un reto muy difícil.

Además, un sistema empotrado tiene que funcionar en el peor escenario posible, debe ser diseñado para cumplir las restricciones incluso en el caso peor.

En este curso l@s estudiantes aprenderán a programar sistemas empotrados basados en microprocesador y diseñar extensiones hardware para funcionar en el caso peor, considerando todas las restricciones durante el diseño y la implementación. Empezaremos por los conceptos más básicos para pronto avanzar a las técnicas más avanzadas.

Esta asignatura aporta el contenido teórico necesario para la asignatura **Laboratorio de Sistemas Electrónicos**, que se imparte en el segundo semestre. El entorno de desarrollo, la plataforma y las herramientas que se presentan en esta asignatura se utilizarán también en el laboratorio. Y las prácticas de este laboratorio están diseñadas para complementar el enfoque dado en esta asignatura.

El curso está organizado en torno a varias prácticas, con nivel creciente de dificultad que se realizan tanto en casa como en el laboratorio..

Al final del curso l@s estudiantes:

- Entender cómo funcionan los sistemas empotrados basados en microcontrolador
- Entender las restriccionesde los sistemas empotrados
- Entender cómo funcionan las herramientas de síntesis de sistemas empotrados(HW & SW)
- Analizar erroresd e diseño(HW & SW) basándose en los efectos observados y el conocimiento sobre las herramientasd e desarrollo
- Diseñar el sw y hw de un sistema empotrado con restricciones

5.2. Temario de la asignatura

1. Introducción a los sistemas empotrados

    1.1. Aplicaciones

    1.2. Ejemplo motivante

    1.3. Proceso de diseño

2. Modelado de comportamientos dinámicos

    2.1. Sistemas contínuos

    2.2. Sistemas discretos

    2.3. Máquinas de estados finitos

    2.4. Modelos de computación concurrentes

3. Diseño de sistemas empotrados

    3.1. Microcontroladores para sistemas empotrados

    3.2. Arquitectura de memoria

    3.3. Entrada/Salida

    3.4. Multitarea

    3.5. Planificación

    3.6. Escenarios de prueba

4. Análisis y verificación

    4.1. Invariantes y lógica temporal

    4.2. Equivalencia y refinamiento

4.3. Model checking

5. Seguridad en Sistemas Empotrados

5.1. Protección de código

5.2. Integridad y privacidad

5.3. Ataques

5.4. Mejoras arquitecturales

6. Cronograma

6.1. Cronograma de la asignatura *

Sem	Actividad en aula	Actividad en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	**1.1. Introducción y conceptos básicos. Sistemas empotrados. Sistemas ciber-físicos. Restricciones. Desarrollo cruzado.** Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral **1.2. Ejemplo motivador.** Duración: 01:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas			
2	**2.1 Modelado de sistemas dinámicos contínuos** Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral **2.2. Modelado de sistemas dinámicos discretos. 2.3. Máquinas de estados finitos** Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
3	**2.3. Máquinas de estados finitos** Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
4	**3.1. Diseño de sistemas empotrados. Procesadores para sistemas empotrados** Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
5	**3.1. Diseño para sistemas empotrados. Procesadores para sistemas empotrados** Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	**Práctica 1: Introducción al entorno de desarrollo** Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		**Práctica 1: Introducción al entorno de desarrollo y placa de diseño** ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua Presencial Duración: 04:00
6	**Panel sobre diseño de procesadores para sistema empotrados** Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas **Revisión de la práctica 1** Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio			

7	**3.2. Diseño de sistemas empotrados. Arquitectura de memoria** Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral **3.3. Diseño de sistemas empotrados. Entrada/salida** Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			**Práctica 2: Diseño de Máquinas de estados finitos** ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua Presencial Duración: 02:00
8	**Revisión de la práctica 2** Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio	**Panel sobre diseño de memoria para sistema empotrados** Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas		
9	**3.4. Diseño de sistemas empotrados. Multitarea.** Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral **3.5. Diseño de sistemas empotrados. Planificación** Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			**Práctica 3: Programación de entrada/salida** ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 04:00
10	**Actividades de planificación de tiempo real** Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas **Revisión de la práctica 3** Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio			
11	**3.6. Diseño e implementación de escenarios de prueba** Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			**Práctica 4: Programación con sistema operativo** ET: Técnica del tipo Prueba Telemática Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 03:00
12	**4.2. Modelos concurrentes síncronos. Máquinas de estados finitos. Equivalencia y refinamiento.** Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral **Revisión de la práctica 4** Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio			
13	**4.1. Análisis y verificación. Invariantes y lógica temporal** Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral **5.1. Protección de código 5.2. Integridad y privacidad** Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			

14	**5.3. Ataques 5.4. Mejoras arquitecturales** Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
15				**Examen para evaluación progresiva** EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 02:00 **Examen global** EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final Presencial Duración: 02:00
16				
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.

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
5	Práctica 1: Introducción al entorno de desarrollo y placa de diseño	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	Presencial	04:00	5%	5 / 10	
7	Práctica 2: Diseño de Máquinas de estados finitos	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	Presencial	02:00	15%	5 / 10	
9	Práctica 3: Programación de entrada/salida	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	Presencial	04:00	15%	5 / 10	CE06 CE04
11	Práctica 4: Programación con sistema operativo	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	Presencial	03:00	15%	5 / 10	
15	Examen para evaluación progresiva	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	50%	5 / 10	CE06 CE01 CE04

7.1.2. Prueba evaluación global

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
9	Práctica 3: Programación de entrada/salida	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	Presencial	04:00	15%	5 / 10	CE06 CE04
11	Práctica 4: Programación con sistema operativo	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	Presencial	03:00	15%	5 / 10	

15	Examen global	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	70%	5 / 10	CE01

7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Práctica 3: Programación de máquina desnuda	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	Presencial	00:00	15%	4 / 10	CE06
Práctica 4: Programación con sistema operativo	ET: Técnica del tipo Prueba Telemática	Presencial	00:00	15%	4 / 10	CE06
Examen final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	00:00	70%	5 / 10	CE01 CE04

7.2. Criterios de evaluación

CONVOCATORIA ORDINARIA: MODALIDAD EVALUACIÓN PROGRESIVA: 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 (4 entregas prácticas y examen final teórico-práctico por escrito). Además, para poder aprobar en la modalidad de evaluación progresiva, es necesario obtener una nota mínima de 5 puntos (sobre 10) en todas las pruebas de evaluación, incluido el examen escrito que se realizará en la convocatoria oficial.

CONVOCATORIA ORDINARIA: GLOBAL: el 70% 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 presentar el día del examen las prácticas 3 y 4, sobre la que se realizará algunas preguntas de control en el examen. Estas práctica suponen un 30% de la nota final. La contestación incorrecta de las preguntas de control en el examen supone la anulación de la práctica.

CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA: el 70% 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 presentar el día del examen las prácticas 3 y 4, sobre las que se realizarán algunas preguntas de control en el examen. Estas práctica suponen un 30% (15% cada una de ellas) de la nota final. La contestación incorrecta de las preguntas de control en el examen supone la anulación de la práctica.

8. Recursos didácticos

8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Moodle de la asignatura	Recursos web	
Edward A. Lee and Sanjit A. Seshia, Introduction to Embedded Systems, A Cyber-Physical Systems Approach, http://LeeSeshia.org, ISBN 978-0-557-70857-4, 2011.	Bibliografía	
Marilyn Wolf, Computers as Components: Principles of Embedded Computing System Design, 3rd edition, Morgan Kaufmann, ISBN 978-0-12-388436-7, 2012.	Bibliografía	Complementario, nivel básico.
Jane W. S. Liu, Real-Time Systems, Prentice Hall, ISBN 0-13-099651-3, 2000	Bibliografía	Complementario, planificación de sistemas de tiempo real.
Test-Driven Development for Embedded C. James W. Grenning	Bibliografía	Complementario, módulo de pruebas

9. Otra información

9.1. Otra información sobre la asignatura

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Esta asignatura está alineada con las estrategia de implantación de la Universidad Politécnica de Madrid de los ODS en la Agenda 2030.

Los objetivos ODS que se trabajan en la asignatura son:

- 3.6 Para 2030, reducir a la mitad el número de muertes y lesiones causadas por accidentes de tráfico en el mundo. Trabajando en sistemas autónomos de mejora a la conducción asistida.
- 4.4 Aumentar el número de personas con las competencias profesionales y técnicas necesarias para acceder al empleo, al trabajo decente y al emprendimiento. Fortaleciendo la formación técnica y profesional del alumnado.
- 4.7 Asegurar que todos los estudiantes adquieran los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para promover el desarrollo sostenible. Incluyendo el desarrollo sostenible como un criterio en las decisiones de diseño de los sistemas.
- 9.5 Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica industrial. Potenciando aspectos de investigación y temas de prospectiva tecnológica.
- 11.6 Reducir el impacto ambiental negativo de las ciudades. Trabajando en diseño de SmartCities y sistemas IoT con baja huella de carbono.
- 17.7 Promover el desarrollo de tecnologías ecológicamente racionales y su transferencia, divulgación y difusión a los países en desarrollo en condiciones favorables. Buscando retos que se adecúen a este objetivo.