Universidad de Alcalá

GUÍA DOCENTE

Sistemas Empotrados

Grado en
Ingeniería de Computadores

Universidad de Alcalá

Curso Académico 2022/2023

3er Curso - 2º Cuatrimestre

Aprobada en Junta de Escuela el día 3 de junio de 2022

GUÍA DOCENTE

Nombre de la asignatura:	**Sistemas Empotrados**
Código:	**590010**
Titulación en la que se imparte:	**Grado en** **Ingeniería de Computadores**
Departamento y Área de Conocimiento:	**Automática** **Arquitectura y Tecnología de Computadores**
Carácter:	**Obligatoria**
Créditos ECTS:	**6.0**
Curso y cuatrimestre:	**3er Curso, 2º Cuatrimestre**
Profesorado:	Óscar Rodríguez Polo
Horario de Tutoría:	Consultar al comienzo de la asignatura
Idioma en el que se imparte:	Español

1a. PRESENTACIÓN

Esta asignatura, junto con “Sistemas de Tiempo Real” y “Percepción y Control”, conforma la materia de Ingeniería de Sistemas. La asignatura se centra en los sistemas empotrados, los elementos que se utilizan para su construcción y los conocimientos necesarios para comprender su funcionamiento, afrontar su diseño y tomar decisiones sobre su implementación.

La asignatura comenzará con una introducción dónde se presentan las características fundamentales de los sistemas empotrados, explicando los elementos principales que los forman, las métricas más importantes que afectan a su desarrollo, así como las distintas posibilidades de abordar la implementación de su hardware de computo.

Tras la introducción, se expondrán los distintos niveles de diseño de un sistema empotrado, así como las técnicas empleadas, tanto de diseño como de validación, que permiten mejorar la productividad y la calidad de los sistemas desarrollados. Entre las técnicas explicadas, se describirá, mediante un caso de uso, la técnica de co-diseño hardware-software, con el fin de que el alumno pueda conocer los retos y beneficios que supone la utilización de la misma en el desarrollo de sistemas empotrados.

A continuación se definirá el concepto de arquitectura de un sistema empotrado, y se describirán los elementos más característicos que se emplean en las estructuras que forman parte de la arquitectura, así como la funcionalidad que proporcionan, justificando su idoneidad para formar parte de este tipo de sistemas.

Finalmente, se estudiará el proceso de desarrollo de los sistemas empotrados, definiendo el ciclo de vida que permite su especificación y validación, así como la posterior implementación y despliegue del sistema. Se hará, además, una breve introducción a algunas herramientas que facilitan el proceso.

Paralelamente a la exposición teórica, el alumno llevará a cabo prácticas que refuercen los contenidos teóricos. En este sentido tendrá que ser capaz de desarrollar, desplegar y depurar software sobre el hardware propio de los sistemas empotrados, así como familiarizarse con la simulación un sistema empotrado que implique aspectos hardware y software. Para las prácticas se utilizará primeramente el hardware básico de un sistema empotrado, implementándose drivers sencillos que permitan una comunicación serie, la gestión de las interrupciones y los servicios básicos de temporización. Posteriormente se utilizarán servicios más avanzados, que faciliten la programación de funciones en el tiempo sobre un ejecutivo cíclico. Finalmente, el alumno realizará prácticas sobre sistemas multitarea, familiarizándose con la utilización de servicios de temporización, mecanismos de protección de acceso a recursos compartidos, y mecanismos de comunicación, tanto síncrona como asíncrona, entre esas tareas.

1b. COURSE SUMMARY

This course shows the introduction to embedded systems. It allows to understand the behaviour of this type of systems and to provide skills for its design and implementation.

The course explains the metrics that driven the embedded systems development. It shows the different design levels and, for each level, the design alternatives and development techniques that make feasible to meet the requirement related to these metrics. The hardware-software co-design techniques will be introduced, focusing in those that facilitate the partitioning, so, after the system level definition, the hardware and software components can be implemented and validated separately. The embedded systems development process is studied. The architecture of an embedded system is defined and the life cycle that allows its specification, implementation and validation is explained.

In parallel with the theoretical lessons, a set of practices are proposed. These practices are focused on the software development on an embedded platform, and they let the student to work with industrial

environments, including a simulator of a system on a chip, and atoolchain that integrates the compiling of the software projects, and also the deployment and debugging on the final target.

2. COMPETENCIAS

Competencias básicas, generales y transversales.

Esta asignatura contribuye a adquirir las siguientes competencias básicas, generales y transversales:

CB1 - 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.

CB2 - Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio.

CB3 - Que los estudiantes tengan la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro de su área de estudio) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética.

CB4 - Que los estudiantes puedan transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado.

CB5 - Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía.

CG4 - Capacidad para definir, evaluar y seleccionar plataformas hardware y software para el desarrollo y la ejecución de sistemas, servicios y aplicaciones informáticas, de acuerdo con los conocimientos adquiridos según lo establecido en el apartado 5, anexo 2, de la resolución BOE-A-2009-12977.

CG8 - Conocimiento de las materias básicas y tecnologías, que capaciten para el aprendizaje y desarrollo de nuevos métodos y tecnologías, así como las que les doten de una gran versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones.

CG9 - Capacidad para resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, autonomía y creatividad. Capacidad para saber comunicar y transmitir los conocimientos, habilidades y destrezas de la profesión de Ingeniero Técnico en Informática.

TRU1 - Capacidad de análisis y síntesis.

TRU2 - Comunicación oral y escrita.

TRU3 - Capacidad de gestión de la información.

TRU4 - Capacidad de aprendizaje autónomo.

TRU5 - Capacidad para trabajar en equipo.

Competencias Específicas

Esta asignatura proporciona la(s) siguiente(s) competencia(s) específica(s):

CIC2 - Capacidad de desarrollar procesadores específicos y sistemas empotrados, así como desarrollar y optimizar el software de dichos sistemas.

CIC5 - Capacidad de analizar, evaluar y seleccionar las plataformas hardware y software más adecuadas para el soporte de aplicaciones empotradas y de tiempo real.

CIC7 - Capacidad para analizar, evaluar, seleccionar y configurar plataformas hardware para el desarrollo y ejecución de aplicaciones y servicios informáticos.

Resultados de aprendizaje

Al terminar con éxito esta asignatura/enseñanza, los estudiantes serán capaces de:

RA1. Enumerar las características específicas de los sistemas empotrados y describir cómo éstas afectan al su proceso de desarrollo.

RA2. Enumerar las distintas métricas de diseño de los sistemas empotrados.

RA3. Describir el papel de la unidad de procesamiento en el contexto de un sistema completo con E/S y memoria.

RA4. Describir cómo es la comunicación de la unidad de procesamiento con el mundo exterior por medio de los periféricos.

RA5. Identificar las alternativas de implementación de un sistema empotrado y ser capaz de seleccionar la más adecuada acorde a las métricas de diseño marcadas como objetivo.

RA6. Identificar los distintos niveles de diseño de un sistema empotrado y describir las técnicas utilizadas para desarrollarlos.

RA7. Definir el concepto de arquitectura de los sistemas empotrados y describir el proceso seguido para su especificación y validación.

RA8. Ser capaz de explicar el diseño de un sistema empotrado.

RA9. Ser capaz de programar un sistema empotrado y describir cómo el lenguaje de alto nivel se convierte en código ejecutable.

RA10. Ser capaz de emplear compiladores y entornos de desarrollo propios de los sistemas empotrados.

3. CONTENIDOS

Bloques de contenido	Total de clases, créditos u horas
Introducción a los sistemas empotrados	10 horas
Técnicas de diseño y validación de sistemas empotrados	16 horas
Arquitectura de un sistema empotrado y elementos de diseño	18 horas
Proceso y entornos de desarrollo de los sistemas empotrados	12 horas

4. METODOLOGÍAS DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE. ACTIVIDADES FORMATIVAS

4.1. Distribución de créditos (especificar en horas)

Número de horas presenciales:	58 horas (56 horas de clase presencial +2 horas de evaluación)
Número de horas del trabajo propio del estudiante:	92 (Incluye horas de estudio, elaboración de actividades, preparación de exámenes)
Total horas	150

4.2. Estrategias metodológicas, materiales y recursos didácticos

Clases Teóricas (en grupos grandes)	• Presentación y/o revisión de conceptos • Presentaciones orales y otras actividades
Clases Prácticas (en grupos reducidos)	• Presentación y/o revisión de conceptos de carácter eminentemente práctico. • Sesiones prácticas de laboratorio: orientadas a consolidar los conceptos presentados previamente, así como a familiarizar al estudiante con herramientas hardware y software de apoyo al estudio de la materia y futuro desempeño profesional. • Presentaciones orales y otras actividades
Tutorías individuales, grupales y vía web (foro, correo, etc.)	• Resolución de dudas • Apoyo al aprendizaje autónomo

5. EVALUACIÓN: Procedimientos, criterios de evaluación y calificación

Preferentemente se ofrecerá a los alumnos un sistema de evaluación continua que tenga características de evaluación formativa de manera que sirva de realimentación en el proceso de enseñanza-aprendizaje por parte del alumno.

5.1. PROCEDIMIENTOS

La evaluación debe estar inspirada en los criterios de evaluación continua (Normativa de Evaluación de los Aprendizajes, NEA, art 3). No obstante, respetando la normativa de la Universidad de Alcalá se pone a disposición del alumno un proceso alternativo de evaluación final de acuerdo a la Normativa de Evaluación de los Aprendizajes según lo indicado en su Artículo 10, los alumnos tendrán un plazo de quince días desde el inicio del curso para solicitar por escrito al Director de la Escuela Politécnica Superior su intención de acogerse al modelo de evaluación no continua aduciendo las razones que estimen convenientes. La evaluación del proceso de aprendizaje de todos los alumnos que no cursen solicitud al respecto o vean denegada la misma se realizará, por defecto, de acuerdo al modelo de evaluación continua. El estudiante dispone de dos convocatorias para superar la asignatura, una ordinaria y otra extraordinaria.

La evaluación puede realizarse de forma continua o mediante una evaluación final, existiendo para cada caso dos convocatorias por matrícula: ordinaria y extraordinaria.

Convocatoria ordinaria

Evaluación continua:

La evaluación continua valora el desarrollo de las competencias durante todo el proceso de aprendizaje de la asignatura mediante una serie de pruebas de carácter sumativo distribuidas a lo largo del curso, que permiten al estudiante abordar la asignatura de forma progresiva.

Garantiza la retroalimentación temprana en el proceso de aprendizaje del alumno y permite a los profesores, coordinadores y demás elementos del Sistema de Garantía de Calidad hacer un seguimiento global, con la posibilidad de actuar en caso de que lo aconsejen indicadores o situaciones determinadas.

La evaluación de la parte relacionada con las prácticas se realizará al finalizar su bloque correspondiente.

Para poder optar a la evaluación continua, será necesario haber asistido al 80% de las clases de laboratorio.

Evaluación mediante examen final:

En este caso el estudiante deberá realizar un único examen final.

Convocatoria extraordinaria

El procedimiento será el mismo que el descrito en la evaluación continua mediante examen final.

5.2. EVALUACIÓN

CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Se utilizarán los siguientes criterios para la evaluación de la asignatura, relacionados con los resultados del aprendizaje:

CE1: El alumno ha adquirido los conocimientos sobre métricas y técnicas de diseño de sistemas empotrados.

CE2: El alumno ha adquirido los conocimientos sobre el proceso de desarrollo de sistemas empotrados.

CE3: El alumno muestra capacidad de aplicación e integración de los contenidos a problemas, escenarios o casos de estudio afines a la asignatura.

CE4: El alumno muestra capacidad e iniciativa para desarrollar software para sistemas empotrados y utilizar entornos de desarrollo específicos de este tipo de sistemas.

CE5: El alumno demuestra capacidad de argumentación y de emisión de juicios sobre diseños de sistemas empotrados planteados en la asignatura.

CE6: El alumno cumple con las tareas encomendadas.

CE7: El alumno muestra interés por los contenidos y la materia trabajada.

CE8: El alumno demuestra cuidado formal, claridad y rigor en la exposición de ideas y razonamientos.

INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN

El rendimiento de los alumnos será valorado por su trabajo, conocimientos y destrezas adquiridas y la mejora de su proceso de aprendizaje.
Los instrumentos de evaluación continua a emplear consistirán en la realización de actividades de evaluación continua planteadas por el profesor para cada uno de los temas.
El total de las actividades planteadas, sus contenidos y temporización, se comunicarán al alumno durante la clase de presentación o a la finalización del bloque de contenido correspondiente. Dichas actividades comprenden:

- **PEI**: Prueba de evaluación intermedia de tipo test o preguntas cortas. A lo largo del curso se realizará un examen objetivo cuyo contenido versará sobre los temas tratados. Los contenidos y la temporalización de este examen se fijarán durante los primeros días de clase
- **PL:** Pruebas de laboratorio. Sobre las prácticas realizadas se plantearán ampliaciones o variaciones de las mismas que deberán ser resueltas por los alumnos.
- **En:** Entregables. Un trabajo grupal será entregado que irá acompañado, además, de una memoria y será presentado en clase.
- **PEF:** Prueba de evaluación final, consistente en un examen escrito de resolución de problemas a la finalización del periodo docente.

CRITERIOS DE CALIFICACIÓN (Ejemplo de tabla, modifíquela según sus necesidades)

En la convocatoria **ordinaria–evaluación continua** la relación entre las competencias, resultados del aprendizaje, criterios e instrumentos de evaluación, es la siguiente.

Competencia	Resultado de Aprendizaje	Criterio de Evaluación	Instrumento de evaluación	Peso en la calificación
CG8, CIC5	RA1-RA6	CE1	PE1	15%
CG4, CG6, CIC2, CIC7	RA9-RA10	CE4,CE6,CE7	PL1	15%
CG4, CG6, CIC2, CIC7	RA9-RA10	CE4,CE6,CE7	PL2	15%
CG4, CG6, CIC2, CIC7	RA9-RA10	CE4,CE6,CE7	PL3	10%
CG9, CIC2, CIC7	RA1-RA8	CE5, CE6, CE7, CE8	En1	20%
CG4, CG6, CG8, CIC5	RA1-RA8	CE2, CE3, CE5, CE7	PEF	25%

En la convocatoria **ordinaria–evaluación final** la relación entre las competencias, resultados del aprendizaje, criterios e instrumentos de evaluación, es la siguiente.

Competencia	Resultado de Aprendizaje	Criterio de Evaluación	Instrumento de evaluación	Peso en la calificación
CG4, CG6, CIC2, CIC7	RA9-RA10	CE4,CE6,CE7	PL	40%
CG4, CG6, CG8, CG9, CIC5	RA1-RA8	CE1, CE2, CE3, CE5, CE8	PEF	60%

Convocatoria extraordinaria

En el caso de la convocatoria extraordinaria se mantendrán los mismos porcentajes que se han establecido en el caso de la evaluación mediante examen final.

6. BIBLIOGRAFÍA

6.1. Bibliografía básica

- Frank Vahid and Tony Givargis. Embedded System Design: A Unified Hardware/Software Introduction. John Wiley & Sons; ISBN: 0471386782. 2002. El libro describe conceptos básicos de sistemas empotrados, las métricas empleadas en su diseño y las alternativas de implementación. Se analizan las técnicas arquitectura de un sistema empotrado en la que se integra el hardware de procesamiento, el software, los periféricos, la memoria, etc. Se tratan algunos ejemplos de estudio y se presentan soluciones de diseño de alto nivel basadas en tareas concurrentes y en la especificación del comportamiento mediante máquinas de estados.
- David E. Simon. An Embedded Software Primer. Addison-Wesley, 1999. El libro presenta los fundamentos hardware y software necesarios para desarrollar un sistema empotrado. En él se describen las distintas técnicas empleadas en su resolución, profundizando en aquellas basadas en la utilización de un sistema operativo de tiempo real. Los contenidos son adecuados para tener una visión de conjunto de este tipo de sistemas e introduce nociones básicas sobre herramientas de desarrollo y depuración.
- Arnold S. Berger. Embedded Systems Design: An Introduction to Processes, Tools and

Techniques. CMP Books; 1st edition (December 15, 2010). El libro aborda desde el punto de vista práctico el diseño de sistemas empotrados. Centra sus contenidos en las características técnicas de las distintas alternativas y herramientas, tanto hardware como software, que se emplean en el desarrollo y depuración de este tipo de sistemas. Tammy Noergaard. Embedded Systems Architecture: A Comprehensive Guide for Engineers and Programmers. Editorial Newnes. 2013. Este libro también cubre ampliamente la temática de los sistemas empotrados. Los temas tratados son: elementos hardware, sistema operativo, lenguajes ensambladores y de alto nivel, redes y casos de estudio.

6.2. Bibliografía complementaria

- Jack Ganssle. The Art of Designing Embedded Systems. Newnes. 2008. Libro que refleja la experiencia de un desarrollador de sistemas empotrados. Resulta de especial utilidad una vez que se han adquirido los fundamentos teóricos y comienzan los primeros trabajos prácticos del alumno.
- Chris Rowen. Engineering the Complex SOC: Fast, Flexible Design with Configurable Processors. Ed. Prentice Hall PTR. 2004. Es un libro que cubre de un modo unificado el diseño de SOC para procesadores configurables y extensibles. Aborda temas como cogeneración hardware/software, particionado, comunicaciones y sistemas con varios procesadores.
- Richard Zurawski. Embedded Systems Handbook (Industrial Information Technology). 2009. Es un libro que cubre la temática de los sistemas empotrados de un modo amplio enfatizando en nuevas tendencias y tecnologías sin olvidarse de los fundamentos. Cubre todos los aspectos ligados a los sistemas empotrados tanto desde la perspectiva del software como de la del hardware. Entre ellos citaremos sistemas de tiempo real, seguridad, system-on-chip y network-on-chip, redes, etc. También incluye ejemplos y aplicaciones en el campo industrial, automoción y sensores inteligentes.
- Axel Jantsch. Modeling Embedded Systems and SoC's: Concurrency and Time in Models of Computation (The Morgan Kaufmann Series in Systems on Silicon). Ed. Morgan Kaufmann. 2003. El libro se centra en la presentación de técnicas de modelado para sistemas empotrados. Cubre típicos como máquinas de estado, redes de Petri o modelos de computación síncronos. También aporta ejemplos reales de uso de estas técnicas.
- David C. Black, Jack Donovan. SystemC: From the Ground Up. Ed. Springer. 2010. SystemC proporciona un conjunto de extensiones a C++ que permite el desarrollo rápido de sistemas hardware/software. Este libro se centra en aspectos prácticos del lenguaje para modelar sistemas reales. El amplio surtido de ejemplos y de programas disponibles de forma gratuita permite al lector una rápida introducción a SystemC.

NOTA INFORMATIVA

La Universidad de Alcalá garantiza a sus estudiantes que, si por exigencias sanitarias las autoridades competentes impidieran la presencialidad total o parcial de la actividad docente, los planes docentes alcanzarían sus objetivos a través de una metodología de enseñanza-aprendizaje y evaluación en formato online, que retornaría a la modalidad presencial en cuanto cesaran dichos impedimentos.