

Bloque I: Introducción a los Sistemas de Control Empotrados

- **Tema I.1 – Introducción a los Sistemas Empotrados (1,5 h)**
 - Definiciones y conceptos básicos. Sistema empotrado vs sistema automatizado. MCU vs MPU vs PLC.
- **Tema I.2 – Arquitectura Interna de un MCU (2,5 h)**
 - Arquitectura Harvard, ALU y operandos, ejecución de instrucciones, oscilador.
- **Tema I.3 – La Memoria del MCU (4 h)**
 - Memoria de programa, particionado, tabla de vectores de excepción. Registros especiales. Memoria de datos, gestión de bancos, registros de propósito específico y general, modos de direccionamiento. Funcionamiento de la pila.

Bloque II: Programación básica del MCU

- **Tema II.1 – Programación y Depuración en Circuito (1,5 h)**
 - ICD vs ICSP. Ecosistema del fabricante. Conceptos básicos (debug, release, debug executive). Palabras de configuración.
- **Tema II.2 – Programación en Lenguaje Ensamblador (2,5 h)**
 - Juego de instrucciones, clasificación, técnica Computed-GOTO, creación y manipulación de variables, creación de estructuras de control de flujo de programa.
- **Tema II.3 – Puertos de E/S (1,5 h)**
 - Diagrama interno, funcionamiento y configuración de los puertos. Voltajes, pull-ups, slew rate, open-drain. Remapeado de pines.
- **Tema II.4 – Interrupciones (2,5 h)**
 - Técnicas de E/S: interrupción vs sondeo. Máscaras y banderas. Rutina de servicio de interrupción. Latencia. Configuración y gestión de interrupciones en lenguaje ensamblador y en lenguaje C.

Bloque III: Periféricos del MCU

- **Tema III.1 – Temporizadores (2,5 h)**
 - Conceptos básicos, configuración, prescaler, postscaler. Papel del temporizador en la implementación de algoritmos de control digitales. Temporizadores e interrupciones: creación de temporizaciones precisas, gestión de múltiples tareas.
- **Tema III.2 – Convertidores de Datos (2 h)**
 - Convertidor A/D: modelo analógico de entrada, configuración (selección de canales, reloj, formato, adquisición automática), duración de la conversión. Convertidor D/A: estructura interna, configuración.
- **Tema III.3 – Módulos de Control y Generación de Señales (1,5 h)**
 - Módulos CCP: modos de funcionamiento y configuración. Módulos PWM: configuración, cálculo del periodo y del ciclo de trabajo, resolución efectiva.
- **Tema III.4 – Módulos de Comunicaciones (2 h)**
 - Módulo EUSART y módulo MSSP: diagramas de bloques, configuración, comunicaciones síncronas y asíncronas.

Bloque IV: Implementación de controladores en el MCU

- **Tema IV.1 – Discretización de Controladores (2 h)**
 - Métodos de discretización de controladores analógicos. Elección del periodo de muestreo y sus efectos. Obtención de ecuaciones en diferencias. Discretización de un PID.
- **Tema IV.2 – Implementación de Controladores PID en el MCU (3 h)**
 - Configuración y programación de los interfaces del MCU en lenguaje C. Obtención del periodo de muestreo mediante configuración de temporizadores y de interrupciones. Implementación del algoritmo de control. Generación de la señal de salida. Preparación para el siguiente periodo de muestreo. Consideraciones prácticas. Preparación y manejo de variables para la supervisión del funcionamiento del controlador en tiempo real. Cálculo del tiempo de ejecución del algoritmo de control.

PRÁCTICAS

El programa de actividades prácticas (de laboratorio) está orientado a que el alumno desarrolle habilidades en el manejo de herramientas (tanto HW como SW) de un fabricante de microcontroladores de 8 bits de reconocido prestigio muy extendido en el mercado español y mundial. El programa está dividido en varias sesiones (LAB), en orden creciente de complejidad, que permitirán, por un lado, afianzar los conceptos más importantes de la asignatura y, por otro, facilitar el desarrollo del trabajo práctico de la asignatura. Las actividades serán las siguientes:

- LAB1 – Simulación vs ejecución en tiempo real (4 h)
- LAB2 – Implementación de tablas (4 h)
- LAB3 – Rebotes. Programación Modular (4 h)
- LAB4 – Temporización HW. Interrupciones (4 h)
- LAB5 – Implementación de controladores. Parte I (4 h)
- LAB6 – Implementación de controladores. Parte II (2,5 h)

Actividades formativas

Horas de trabajo del alumno/a por tema		Horas Gran grupo	Actividades prácticas				Actividad de seguimiento	No presencial
Tema	Total	GG	CH	L	O	S	TP	EP
I.1	2,5	1,5						1
I.2	7,5	2,5		2				3
I.3	13	4		2				7
II.1	7,5	1,5		2				4
II.2	8,5	2,5		2				4
II.3	6,5	1,5		2				3
II.4	9,5	2,5		2				5
III.1	9,5	2,5		2				5
III.2	5	2						3
III.3	7,5	1,5		2				4
III.4	8	2		2				4
IV.1	8	2		2				4
IV.2	9,5	3		2,5				4
Trabajo práctico	43						3	40
Evaluación	4,5	1						3,5
Prueba Final (AO2)	4,5	1						3,5
TOTAL	150	30		22,5	0	0	3	94,5

GG: Grupo Grande (85 estudiantes).

CH: Actividades de prácticas clínicas hospitalarias (7 estudiantes)

L: Actividades de laboratorio o prácticas de campo (15 estudiantes)

O: Actividades en sala de ordenadores o laboratorio de idiomas (20 estudiantes)

S: Actividades de seminario o de problemas en clase (40 estudiantes).

TP: Tutorías Programadas (seguimiento docente, tipo tutorías ECTS).

EP: Estudio personal, trabajos individuales o en grupo, y lectura de bibliografía.

Metodologías docentes

De entre las metodologías docentes incluidas en el plan de estudios del título, en la presente asignatura se utilizan las siguientes:

Metodologías docentes	Se indican con una "X" las utilizadas
1. Explicación y discusión de los contenidos teóricos.	X
2. Resolución, análisis y discusión de ejemplos de apoyo o de problemas previamente propuestos.	
3. Exposición de trabajos previamente encargados a los estudiantes.	X
4. Desarrollo en laboratorio, aula de informática, campo, etc., de casos prácticos.	X
5. Resolución de dudas puntuales en grupos reducidos, para detectar posibles problemas del proceso enseñanza-aprendizaje y guía en los trabajos, prácticas y estudio del estudiante.	X
6. Búsqueda de información previa al desarrollo del tema o complementaria una vez que se han realizado actividades sobre el mismo.	X
7. Elaboración de trabajos, individualmente o en grupos.	X
8. Estudio de cada tema, que puede consistir en: estudios de contenidos, preparación de problemas o casos, preparación del examen, etc.	X
9. Visitas técnicas a instalaciones	

La asignatura se desarrollará siguiendo las siguientes actividades:

- Grupo Grande: son clases teóricas apoyadas con transparencias y multitud de casos de ejemplo que sirvan para clarificar y fijar los conceptos generales de la asignatura. Continuamente se involucra al alumno de tal forma que se le haga pensar y cuestionar con actitud crítica los conceptos teóricos que debe ir asimilando.
- Laboratorio (LABs): son actividades de carácter totalmente práctico manejando herramientas informáticas para el aprendizaje de la programación de sistemas de control empotrados basados en microcontroladores. El aprendizaje es continuo y de menor a mayor dificultad. Se estudian conceptos prácticos complementarios a los vistos en las clases teóricas.
- Tutorías programadas: son actividades empleadas para realizar un seguimiento del trabajo práctico a desarrollar por los alumnos, resolviendo dudas y proponiendo soluciones o alternativas. Además, se proporcionan documentos e información para ayudar a los estudiantes en la realización del diseño electrónico de un sistema de control empotrado.
- Trabajo práctico: en grupos reducidos, los alumnos deben realizar, basándose en una serie de especificaciones técnicas y bajo supervisión del profesor, un trabajo de diseño de un sistema de control empotrado, donde apliquen todos los conocimientos de las clases teóricas y prácticas. Esta metodología de **Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP)** es muy adecuada para la formación del estudiante y su incorporación al entorno laboral. Periódicamente, se pide que se entregue un pequeño informe de seguimiento de los avances y resultados parciales del proyecto. Por otro lado, deben realizar una "defensa/demostración práctica" haciendo ver que la solución propuesta funciona según las bases dictadas al principio. Y finalmente deben entregar un informe que resuma las soluciones técnicas adoptadas y la descripción detallada del desarrollo del trabajo. El trabajo práctico **sólo podrá ser desarrollado y evaluado en la convocatoria ordinaria**.
- Exámenes y cuestionarios: los alumnos deberán realizar diferentes pruebas teórico-prácticas repartidas a lo largo del semestre, bien en forma de cuestionario en el campus virtual y/o examen escrito.

Resultados de aprendizaje

Los resultados esperados son los siguientes:

- RA1 – Asentar los principios y conceptos fundamentales de la arquitectura de computadores digitales.
- RA2 – Conocer, comprender y asentar los conceptos sobre técnicas de E/S básicas en computadores digitales.
- RA3 – Conocer los fundamentos de los microcontroladores y su arquitectura básica.
- RA4 – Aprender a programar microcontroladores en lenguaje ensamblador y sus herramientas asociadas.
- RA5 – Introducir al alumno en el diseño de sistemas electrónicos empotrados basados en microcontroladores.

Sistemas de evaluación

Criterios de evaluación:

- CR1 - Comprender los fundamentos sobre microcontroladores: arquitectura básica, programación, técnicas básicas de E/S, puesta en marcha, depuración, etc. (relacionado con las competencias CG[1,3,5,7,8,11] y CT[1,7]).
- CR2 - Capacidad para desarrollar programas en lenguaje ensamblador y lenguaje C empleando las herramientas hardware y software, así como hojas de características del fabricante de microcontroladores. (relacionado con las competencias CG[1,3,5,7,8,11], CT[1,4,5,7] y CETE[10]).
- CR3 - Capacidad para entender y llevar a cabo proyectos de diseño de sistemas de control empotrados basados en microcontroladores (relacionado con CG[1,2,4,6-8,11], CT[2,4,7,8], CETE[10] y **competencias transversales ENAEE CTE[1,2,3]**).
- CR4 - Capacidad para planificar y distribuir el trabajo en el desarrollo de proyectos en equipo, presentando resultados y transmitiendo conocimientos (relacionado con CG[1,2,4,5,6,8-11], CT[2,3,5-9], CETE[10] y **competencias transversales ENAEE CTE[1, 2]**).

Actividades de evaluación:

De entre las actividades de evaluación incluidas en el plan de estudios del título, en la presente asignatura se utilizan las siguientes:

	Rango establecido	Convocatoria ordinaria	Convocatoria extraordinaria	Evaluación global
1. Examen final teórico/práctico y/o exámenes parciales acumulativos y/o eliminatorios.	0%-80%	15 % + 15 %	15 % + 60 %	50 %
2. Aprovechamiento de actividades prácticas realizadas en: aula, laboratorio, sala de ordenadores, campo, visitas, etc.	0%-50%	25 %	25 %	50 %
3. Resolución y entrega de actividades (casos, problemas, informes, trabajos, proyectos, etc.), individualmente y/o en grupo (GG, SL, ECTS).	0%-50%	10 % + 35 %		
4. Participación activa en clase.	0%-10%			
5. Asistencia a las actividades presenciales.	0%-10%			

AVISO IMPORTANTE

Para seguir con mayor aprovechamiento los contenidos de la asignatura se recomienda haber cursado y superado las asignaturas **Control Automático, Electrónica Digital y Sistemas Electrónicos de Potencia**.

Descripción de las actividades de evaluación:

EVALUACIÓN CONTINUA (Convocatoria Ordinaria)

Actividades del tipo 1:

- **Actividad Ordinaria 1 (AO1) – Cuestionarios de contenidos teóricos (CR[1,2])**
 - 15%. **Calificación** de 0 a 10.
 - NO RECUPERABLE y SÍ SE GUARDA para la convocatoria extraordinaria.
 - Durante el curso se harán varios cuestionarios de corta duración en el campus virtual relacionados con los contenidos de los temas.
 - AO1 se calcula como media aritmética de la nota de los cuestionarios.
- **Actividad Ordinaria 2 (AO2) – Defensa/demostración práctica del trabajo en grupo (CR[3,4])**
 - 15%. **Calificación** de 0 a 10.
 - NO RECUPERABLE y NO SE GUARDA para la convocatoria extraordinaria.
 - Los alumnos expondrán oralmente los resultados del proyecto práctico realizado en grupo. En todo momento, el profesor podrá hacer preguntas relacionadas dirigidas a uno o a todos los miembros del grupo.

Actividades del tipo 2:

- **Actividad Ordinaria 3 (AO3) – Prácticas de laboratorio (LABs) (CR[1,2])**
 - 25%. **Calificación** de 0 a 10.
 - NO RECUPERABLE y SÍ SE GUARDA para la convocatoria extraordinaria.
 - AO3 se calcula como media de las notas individuales de cada LAB, ponderada por el **porcentaje de asistencia (PA)**. Cada LAB se calificará de 0 a 10, respondiendo a cuestiones relacionadas mediante tarea en el campus virtual. Es obligatorio que el alumno enseñe al profesor que la práctica funciona correctamente; de no hacerlo, la calificación individual será 0, con independencia de la nota de las respuestas del campus virtual.

Ejemplo:

Nota media LABs = 7; PA = 60%; AO3 = $7 \times 0,6 = 4,2$

- El control de asistencia en cada sesión de prácticas se realizará pasando lista oralmente o mediante una hoja de firmas. La no asistencia, ya sea justificada o no, no podrá ser recuperada.

Actividades del tipo 3:

- **Actividad Ordinaria 4 (AO4) – Entrega de informes de seguimiento del trabajo en grupo (CR[1-4])**
 - 10%. **Calificación** de 0 a 10.
 - NO RECUPERABLE y NO SE GUARDA para la convocatoria extraordinaria.
 - Periódicamente, se pedirá a cada grupo de trabajo que entreguen en el campus virtual un pequeño informe de seguimiento indicando los avances, actividades y resultados parciales realizados hasta la fecha, con el fin de evaluar el progreso del trabajo práctico y realizar modificaciones y/o ajustes.
- **Actividad Ordinaria 5 (AO5) – Entrega del informe final del trabajo en grupo (CR[1-4])**
 - 35%. **Calificación** de 0 a 10.
 - NO RECUPERABLE y NO SE GUARDA para la convocatoria extraordinaria.
 - Los alumnos entregarán una memoria final del trabajo, así como los códigos fuentes originales.

Nota final de la convocatoria ordinaria (NFO)

- *Es obligatoria la entrega de todos los informes de seguimiento (AO4) y la superación de cada uno de ellos (salvo el 1º) con una nota de, al menos, 7 puntos. En caso de no cumplir este requisito la calificación de AO2 y AO5 será cero.*

La calificación final se obtiene de la siguiente manera:

$$- \quad \mathbf{NFO = 0,15 \cdot AO1 + 0,15 \cdot AO2 + 0,25 \cdot AO3 + 0,10 \cdot AO4 + 0,35 \cdot AO5}$$

EVALUACIÓN CONTINUA (Convocatoria Extraordinaria)

En la convocatoria extraordinaria se emplean las notas guardadas de AO1 (cuestionarios) y AO3 (LABs). Además, hay que realizar la siguiente actividad:

Actividad del tipo 1:

- **Actividad Extraordinaria 1 (AX1) – Examen de contenidos teóricos-prácticos (CR[1,2])**
 - 60%. **Calificación** de 0 a 10. Se pide una nota mínima de 4. Si la nota es inferior a 4 se tomará AX1 = 0.

Nota final de la convocatoria extraordinaria (NFX)

La calificación final se obtiene de la siguiente manera:

$$- \quad \mathbf{NFX = 0,15 \cdot AO1 + 0,60 \cdot AX1 + 0,25 \cdot AO3}$$

EVALUACIÓN GLOBAL

La prueba de evaluación global constará de las siguientes partes:

Actividad del tipo 1:

- **Actividad Global 1 (AG1) – Examen de contenidos teóricos y prácticos (CR[1,2])**
 - 50%. **Calificación** de 0 a 10. Se pide una nota mínima de 5. Si la nota es inferior a 5 se tomará AG1 = 0.

Actividad del tipo 2:

- **Actividad Global 2 (AG2) – Examen práctico con el equipamiento del laboratorio. (CR[1,2])**
 - 50%. **Calificación** de 0 a 10. Se pide una nota mínima de 5. Si la nota es inferior a 5 se tomará AG2 = 0.

Calificación final de la evaluación global (NFG)

La calificación final se obtiene de la siguiente manera:

$$- \quad \mathbf{NFG = 0,5 \cdot AG1 + 0,5 \cdot AG2}$$

Bibliografía (básica y complementaria)

Bibliografía Básica:

- [B1] Transparencias y recursos de la asignatura (*disponibles en el campus virtual*) y apuntes tomados en clase.
- [B2] Hojas de características y documentos de ayuda del fabricante de microcontroladores (*disponibles en el campus virtual*).

Bibliografía Complementaria:

- [C1] T. Wilmshurst, "Designing Embedded Systems with PIC Microcontrollers", Newnes (2010). (*Disponible como recurso electrónico en el Servicio de Bibliotecas de la UEx*).
- [C2] G.F. Franklin, J. D. Powell, A. Emami-Naeini, "Feedback Control of Dynamics Systems" (7th Ed.), Pearson, 2014. (*Disponible versiones anteriores en biblioteca de la EII y en la Biblioteca Central del campus de Badajoz*).
- [C3] M. Etxeberria Isuskiza, "Microcontroladores PIC: teoría y práctica", Creaciones Copyright (2011). (*Disponible en Biblioteca Central del campus de Badajoz*)
- [C4] J. M. Angulo Usategui, S. Romero Yesa, I. Angulo Martínez, "Microcontroladores PIC. Diseño Práctico de Aplicaciones (2ª parte)", McGraw-Hill Interamericana (2006). (*Disponible en biblioteca de la EII y en la Biblioteca Central del campus de Badajoz*).
- [C5] G. Sen Gupta, S. Chandra Mukhopadhyay, "Embedded Microcontroller Interfacing", Springer Berlin Heidelberg (2010). (*Disponible como recurso electrónico en el Servicio de Bibliotecas de la UEx*).
- [C6] B. Borowik, "Interfacing PIC Microcontrollers to Peripheral Devices", Springer Netherlands (2011). (*Disponible como recurso electrónico en el Servicio de Bibliotecas de la UEx*).

Otros recursos y materiales docentes complementarios

- **Microchip Developer Help** (<https://www.microchip.com/en-us/education/developer-help>). Recursos, tutoriales y cursos del fabricante para iniciarse en sus herramientas SW y HW para el diseño de sistemas embebidos basado en sus microcontroladores.