



## DATOS IDENTIFICATIVOS

### Codiseño Hardware/Software de Sistemas Empotrados

Asignatura	Codiseño Hardware/Software de Sistemas Empotrados			
Código	V05M145V01214			
Titulación	Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación			
Descriptores	Creditos ECTS	Seleccione	Curso	Cuatrimestre
	5	OP	1	2c
Lengua Impartición	Castellano Gallego Inglés			
Departamento	Tecnología electrónica			
Coordinador/a	Poza González, Francisco			
Profesorado	Álvarez Ruiz de Ojeda, Luís Jacobo Poza González, Francisco			
Correo-e	fpoza@uvigo.es			
Web	<a href="http://www.faitic.uvigo.es">http://www.faitic.uvigo.es</a>			
Descripción general	<p>La documentación de la materia se encuentra en inglés. Algunas clases de la asignatura pueden ser impartidas en inglés. Los objetivos que se persiguen con esta asignatura son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Conocer los métodos de codiseño de aplicaciones basadas en microprocesadores empotrados en FPGAs.</li> <li><input type="checkbox"/> Conocer los microprocesadores que se pueden implementar en las FPGAs comerciales.</li> <li><input type="checkbox"/> Manejar las herramientas <input type="checkbox"/>software<input type="checkbox"/> necesarias para el desarrollo de aplicaciones empotradas mediante FPGAs.</li> <li><input type="checkbox"/> Diseñar periféricos de aplicación específica y su conexión a los buses de los microprocesadores empotrados.</li> <li><input type="checkbox"/> Realizar sistemas digitales de aplicación real con microprocesadores empotrados en FPGAs.</li> </ul>			

## Competencias

Código		
A5	CB5	Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.
B1	CG1	Capacidad para proyectar, calcular y diseñar productos, procesos e instalaciones en todos los ámbitos de la ingeniería de telecomunicación.
B8	CG8	Capacidad para la aplicación de los conocimientos adquiridos y resolver problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios y multidisciplinarios, siendo capaces de integrar conocimientos.
C11	CE11	Conocimiento de los lenguajes de descripción hardware para circuitos de alta complejidad.
C12	CE12	Capacidad para utilizar dispositivos lógicos programables, así como para diseñar sistemas electrónicos avanzados, tanto analógicos como digitales. Capacidad para diseñar componentes de comunicaciones como por ejemplo encaminadores, conmutadores, concentradores, emisores y receptores en diferentes bandas.

## Resultados de aprendizaje

Resultados previstos en la materia	Resultados de Formación y Aprendizaje
Conocer los métodos de codiseño de aplicaciones basadas en microprocesadores empotrados en FPGAs.	A5 C11 C12
Conocer los microprocesadores que se pueden implementar en las FPGAs comerciales.	A5 C11 C12

Manejar las herramientas software necesarias para el desarrollo de aplicaciones empotradas mediante FPGAs.	A5 C11 C12
Diseñar periféricos de aplicación específica y su conexión a los buses de los microprocesadores empotrados.	A5 B1 B8 C11 C12
Realizar sistemas digitales de aplicación real con microprocesadores empotrados en FPGAs.	A5 B1 B8 C11 C12

## Contenidos

Tema	
TEMA 1 TEORÍA. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE SISTEMAS EMPOTRADOS. (1 h.)	1.1.- Introducción. 1.2.- Sistemas en un Circuito Programable (PSOC). 1.3.- Codiseño "hardware" / "software". Fases del codiseño. 1.4.- Herramientas Vivado y SDK de Xilinx para codiseño de sistemas empotrados.
TEMA 2 TEORÍA. MICROPROCESADOR ARM DE XILINX. (05 h.)	2.1.- Introducción. 2.2.- Arquitectura interna del microprocesador ARM. 2.2.1.- Estructura del microprocesador ARM. 2.2.2.- Mapa de memoria. 2.2.3.- Periféricos básicos. Temporizador. UART RS232. Controlador de interrupciones. 2.2.4.- Periféricos opcionales. SPI, I2C, USB, CAN.
TEMA 3 TEORÍA. ARQUITECTURA DE LOS SOCs DE LA FAMILIA ZYNQ DE XILINX. (05 h.)	3.1.- Introducción. 3.2.- Arquitectura de los SOCs de la familia Zynq de Xilinx. 3.2.1.- "Processing System" (PS). Microprocesador ARM. Periféricos. 3.2.2.- "Programmable Logic" (PL). Recursos lógicos. 3.2.3.- Recursos de interconexión. 3.2.4.- Tecnología. 3.2.5.- Otras características.
TEMA 4 TEORÍA. CONEXIÓN DE CIRCUITOS PERIFÉRICOS AL MICROPROCESADOR ARM DE XILINX. (1 h.)	4.1.- Introducción. 4.2.- Interfaz para periféricos básicos. GPIO. 4.3.- Interfaz para periféricos avanzados. IPIF. 4.4.- Interfaz para coprocesadores de usuario.
TEMA 5 TEORÍA. DESARROLLO DE SOFTWARE PARA EL MICROPROCESADOR ARM DE XILINX. (1 h.)	5.1.- Introducción. 5.2.- Estructura de las rutinas de manejo de periféricos. 5.3.- Manejo de interrupciones. 5.4.- Depuración del programa.
TEMA 6 TEORÍA. PARTICIONADO "HARDWARE / SOFTWARE". (1 h.)	6.1.- Introducción. 6.2.- Ejemplos de codiseño "hardware / software". 6.3.- Reparto de funciones entre "hardware y "software".
TEMA 7 TEORÍA. TRABAJO DE DISEÑO DE PERIFÉRICOS PARA MICROPROCESADORES EMPOTRADOS DE XILINX. (5 h.)	7.1.- Diseño del periférico asignado, utilizando la combinación de "hardware" y "software" más adecuada.
TEMA 1 LABORATORIO. ENTORNO VIVADO PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS EMPOTRADOS BASADOS EN MICROPROCESADORES DE 32 BITS DE XILINX. (2 h.)	1.1.- Introducción. 1.2.- Vivado de Xilinx. 1.2.1.- Flujo de codiseño. 1.2.2.- Tutor para la creación de sistemas empotrados. 1.2.3.- Adición de periféricos predefinidos ("IP cores"). 1.3.- Realización de ejemplos básicos de sistemas empotrados basados en el microprocesador ARM. 1.4.- Implementación de los sistemas desarrollados en placas de evaluación de Digilent.
TEMA 2 LABORATORIO. REALIZACIÓN DE CIRCUITOS PERIFÉRICOS BÁSICOS PARA LOS MICROPROCESADORES EMPOTRADOS DE XILINX. (2 h.)	2.1.- Introducción. 2.2.- Utilización de periféricos predefinidos. IPs. 2.3.- Desarrollo de periféricos de usuario básicos. GPIO.
TEMA 3 LABORATORIO. REALIZACIÓN DE CIRCUITOS PERIFÉRICOS AVANZADOS PARA LOS MICROPROCESADORES EMPOTRADOS DE XILINX. (2 h.)	3.1.- Introducción. 3.2.- Desarrollo de periféricos de usuario avanzados ("Custom IP"). 3.3.- Desarrollo de coprocesadores de usuario.

TEMA 4 LABORATORIO. ENTORNO SDK PARA EL DISEÑO DE SOFTWARE DE MICROPROCESADORES DE 32 BITS DE XILINX. (2 h.)	<p>4.1.- Introducción.</p> <p>4.2.- SDK. "Software Development Kit" de Xilinx.</p> <p>4.2.1.- Herramientas GNU (GCC, ASsembler).</p> <p>4.2.2.- Editor. Compilador. Enlazador ("linker").</p> <p>4.2.3.- Bibliotecas suministradas.</p> <p>4.2.4.- Analizador de prestaciones ("software profiler").</p> <p>4.3.- Realización de ejemplos.</p> <p>4.3.1.- Temporizador acoplado por interrupción.</p>
TEMA 5 LABORATORIO. VERIFICACIÓN HARDWARE/SOFTWARE DE APLICACIONES EMPOTRADAS. (2 h.)	<p>5.1.- Introducción.</p> <p>5.2.- Simulación de los sistemas empotrados.</p> <p>5.3.- Depuración de los sistemas empotrados mediante el depurador XMD desde SDK</p> <p>5.4.- Depuración de los sistemas empotrados mediante el depurador "GNU debugger" desde SDK.</p> <p>5.5.- Co-verificación HW/SW de los sistemas empotrados mediante el analizador hardware "Chipscope" de Xilinx y el depurador software "GNU debugger".</p>
TEMA 6 LABORATORIO. TRABAJOS DE DISEÑO DE APLICACIONES BASADAS EN MICROPROCESADORES EMPOTRADOS DE 32 BITS DE XILINX. (9 h.: 5 h. tipo B + 4 h. tipo C)	<p>6.1.- Realización y verificación de la aplicación asignada.</p>

### Planificación

	Horas en clase	Horas fuera de clase	Horas totales
Sesión magistral	5	10	15
Resolución de problemas y/o ejercicios	5	20	25
Prácticas de laboratorio	10	10	20
Trabajos tutelados	9	48	57
Presentaciones/exposiciones	1	7	8

\*Los datos que aparecen en la tabla de planificación son de carácter orientativo, considerando la heterogeneidad de alumnado

### Metodologías

	Descripción
Sesión magistral	Exposición de los principales contenidos teóricos de la materia con ayuda de medios audiovisuales.
	Con esta metodología se desarrollan las competencias CE11 y CE12.
Resolución de problemas y/o ejercicios	Aprendizaje basada en problemas (ABP): Resolución de problemas de diseño de circuitos sintetizables en VHDL y programas en C propuestos por el profesor.
	Con esta metodología se desarrollan las competencias CB5, CG1, CG8, CE11 y CE12.
Prácticas de laboratorio	En estas prácticas se planteará el desarrollo de prácticas guiadas de realización de circuitos y programas.
	Con esta metodología se desarrollan las competencias CB5, CG8, CE11 y CE12.
Trabajos tutelados	Enseñanza basada en proyectos de aprendizaje: Se propone a los alumnos la realización de un proyecto de diseño de un sistema empotrado para resolver un problema planteado por el profesor mediante la planificación, diseño y realización de las actividades necesarias.
	Con esta metodología se desarrollan las competencias CB5, CG1, CG8, CE11 y CE12.
Presentaciones/exposiciones	Exposición de los resultados del proyecto realizado.
	Con esta metodología se desarrollan las competencias CB5, CE11 y CE12.

### Atención personalizada

Metodologías	Descripción
Sesión magistral	En las clases presenciales se atenderán las dudas de los alumnos. Además, los estudiantes tendrán ocasión de acudir a tutorías personalizadas en el despacho de los profesores de la asignatura en el horario que los profesores establecerán a tal efecto a principio de curso y que se publicará en la página de la asignatura.
Prácticas de laboratorio	En las clases presenciales se atenderán las dudas de los alumnos. Además, los estudiantes tendrán ocasión de acudir a tutorías personalizadas en el despacho de los profesores de la asignatura en el horario que los profesores establecerán a tal efecto a principio de curso y que se publicará en la página de la asignatura.

Resolución de problemas y/o ejercicios	En las clases presenciales se atenderán las dudas de los alumnos. Además, los estudiantes tendrán ocasión de acudir a tutorías personalizadas en el despacho de los profesores de la asignatura en el horario que los profesores establecerán a tal efecto a principio de curso y que se publicará en la página de la asignatura.
Trabajos tutelados	En las clases presenciales se atenderán las dudas de los alumnos. Además, los estudiantes tendrán ocasión de acudir a tutorías personalizadas en el despacho de los profesores de la asignatura en el horario que los profesores establecerán a tal efecto a principio de curso y que se publicará en la página de la asignatura.

## Evaluación

	Descripción	Calificación	Resultados de Formación y Aprendizaje			
Resolución de problemas y/o ejercicios	Aprendizaje basado en problemas. Resolución de ejercicios y problemas teóricos. La mayoría de ellos se centrarán en el planteamiento y el enfoque teórico del diseño de un periférico de un sistema empotrado. El contenido se corresponde con los temas de teoría. Será necesario enseñar al profesor el funcionamiento de cada uno de los circuitos y programas. Se evaluará la correcta aplicación de los conceptos teóricos a los problemas realizados, de acuerdo a los criterios de valoración. Será necesario entregar la documentación solicitada por el profesor para cada uno de los ejercicios realizados.	25	A5	B1	C11	B8 C12
Prácticas de laboratorio	Se evaluará el correcto funcionamiento de los circuitos y programas realizados en las sesiones de prácticas correspondientes a los temas 1 a 5 de laboratorio de acuerdo a los criterios de valoración. Será necesario enseñar al profesor el correcto funcionamiento de cada uno de los circuitos y programas.	25	A5	B8	C11	C12
Trabajos tutelados	Aprendizaje basado en proyectos. Trabajo autónomo de diseño de un sistema empotrado. Será necesario entregar los ficheros fuente del trabajo realizado. Se evaluará el funcionamiento del sistema digital realizado y la correcta aplicación de los conceptos teóricos al diseño del sistema digital, de acuerdo a los criterios de valoración.	40	A5	B1	C11	B8 C12
Presentaciones/exposiciones	Será necesario realizar una presentación oral de máximo 15 minutos sobre el trabajo práctico autónomo realizado, según el índice suministrado por el profesor.	10	A5		C11	C12

## Otros comentarios sobre la Evaluación

La nota de la asignatura será la suma de las notas correspondientes a las distintas tareas de la asignatura.

Todos los alumnos, tanto los que sigan la asignatura de forma continua como los que quieran ser evaluados únicamente al final del cuatrimestre o en una evaluación extraordinaria, deberán realizar las tareas descritas en el apartado anterior.

Los alumnos que no asistan a clase regularmente deberán realizar las mismas tareas que los alumnos asistentes a clase.

La calificación final se expresará de forma numérica entre 0 y 10, según la legislación vigente (Real Decreto 1125/2003 de 5 de Septiembre; BOE 18 de septiembre).

Siguiendo las directrices propias de la titulación se ofrecerá a los alumnos que cursen esta materia dos sistemas de evaluación: evaluación continua y evaluación final.

### EVALUACIÓN CONTINUA:

El hecho de realizar 2 prácticas de laboratorio o 2 memorias de ejercicios teóricos supone que el alumno opta por la evaluación continua.

Los alumnos que opten por evaluación continua, pero no aprueben la asignatura mediante esta modalidad, deberán realizar la evaluación final completa en la evaluación extraordinaria de Julio.

Los alumnos que aprueben la asignatura mediante evaluación continua no podrán repetir de nuevo en la evaluación final ninguna tarea con el objetivo de subir la nota.

□ Las distintas tareas deben entregarse en la fecha especificada por el profesor. Si no es así, no serán calificadas para la evaluación continua.

□ Los alumnos realizarán los ejercicios teóricos, las prácticas de laboratorio y los trabajos de laboratorio preferentemente de forma individual. En caso de realizarlos en grupos de dos alumnos la calificación será la misma para ambos.

□ Si se sigue la asignatura de forma continua, se puede faltar como máximo a 2 sesiones presenciales. Si se ha faltado a más de 2 sesiones, será obligatorio realizar un trabajo individual adicional o un examen.

#### EVALUACIÓN FINAL:

□ Los alumnos que opten por la evaluación final deberán realizar todas las tareas teóricas y prácticas y los trabajos individualmente.

□ La entrega de las tareas para la evaluación final debe realizarse antes de la fecha oficial del examen establecida por el centro.

#### COMÚN A TODOS LOS ALUMNOS

En caso de superar los ejercicios teóricos (ET), las prácticas de laboratorio (PL) y el trabajo autónomo (TA), es decir, que la nota de cada parte  $\geq 5$ , la calificación final (NF) será la suma ponderada de las notas de cada parte de la asignatura:

$$NF = 0,25 * ET + 0,25 * PL + 0,40 * TA + 0,10 * PO$$

En caso de no superar alguna de las tres pruebas (nota de alguna prueba  $< 5$ ), la calificación final (NF) será:  $NF = \text{mínimo} [4,5; (NF = 0,25 * ET + 0,25 * PL + 0,40 * TA + 0,10 * PO) ]$

Siendo:

ET = Nota conjunta de los ejercicios y problemas teóricos.

PL = Nota conjunta de las prácticas de laboratorio.

TA = Trabajo Autónomo práctico.

PO = Presentación Oral.

#### CRITERIOS DE EVALUACIÓN.

##### 1) Realización de prácticas de laboratorio guiadas.

Se evaluará el correcto funcionamiento de los circuitos y programas realizados en las sesiones de prácticas, de acuerdo con la puntuación asignada en los enunciados de prácticas. Cada tema de prácticas se puntuará sobre 10. Luego se ponderará su influencia en la nota total de la asignatura en función del número de horas asignado a cada tema.

Es decir, la nota de las prácticas correspondientes a los temas 1 a 5 de laboratorio, se obtiene de la forma siguiente:

$$PL = ( \text{Nota Tema 1L} + \text{Nota Tema 2L} + \text{Nota Tema 3L} + \text{Nota Tema 4L} + \text{Nota Tema 5L} ) / 5$$

La nota total de las horas de prácticas guiadas (PL) corresponde a un 25% de la nota total de la asignatura. Será necesario entregar los ficheros que se indican en los enunciados de prácticas.

Los criterios de valoración se refieren únicamente a la funcionalidad de los circuitos y programas realizados, es decir, los circuitos y programas deben funcionar perfectamente en todos sus aspectos, para obtener la máxima nota, ya sea la simulación del "software", la simulación funcional y temporal de los diferentes circuitos "hardware" y del sistema completo, o la prueba en la placa de desarrollo.

##### 2) Ejercicios y problemas teóricos.

Se evaluará cada uno de los ejercicios y problemas planteados en las sesiones de teoría. Cada ejercicio se puntuará sobre 10. Luego se ponderará su influencia en la nota total de la asignatura en función del número de ejercicios asignado.

La mayoría de los ejercicios consistirán en el diseño de un periférico para un sistema empotrado y el planteamiento del diseño de un sistema empotrado completo con sus periféricos.

Los criterios de valoración son los siguientes:

2.1) Reparto adecuado de tareas entre "hardware" y "software".

2.2) Organización adecuada del "hardware" y estructura adecuada del programa en C.

### 2.3) Corrección del diseño (CORR).

Optimización de la descripción en VHDL y de los programas en C. Aplicación de las técnicas de diseño síncrono. Diseño reutilizable.

### 2.4) Funcionalidad (FUNC).

Si el ejercicio lo pide, la simulación funcional y temporal de los circuitos VHDL, así como la simulación de los programas en C deben funcionar perfectamente.

### 2.5) Documentación (DOC).

i. Ficheros fuente de diseño. Comentarios suficientes en los ficheros VHDL y ficheros C para su comprensión.

Será necesario entregar los ficheros que se indican en los enunciados de cada ejercicio teórico.

La nota total será la suma de las notas de cada uno de los ejercicios dividida por el número de ejercicios:

$$ET = (\text{Ejercicio 1} + \dots + \text{Ejercicio N}) / N$$

### 3) Trabajo práctico autónomo.

Trabajos de diseño de un sistema empotrado. Los criterios de valoración son los siguientes:

3.1) Reparto adecuado de tareas entre "hardware" y "software".

3.2) Organización adecuada del "hardware" y estructura adecuada del programa en C.

3.3) Corrección del diseño. Optimización de la descripción en VHDL y de la utilización de circuitos. Aplicación de las técnicas de diseño síncrono. Diseño reutilizable.

3.4) Análisis de la implementación con FPGAs. Analizar los recursos lógicos de la FPGA utilizados y razonar su necesidad. Analizar de forma razonada los retardos internos del sistema implementado. Verificación con "Chipscope".

3.5) Funcionalidad. Simulación del "software". Depuración del "software". Simulación funcional y temporal de los diferentes circuitos "hardware". Simulación del sistema empotrado completo ("hardware" + "software"). Depuración del sistema empotrado completo ("hardware" + "software"). Prueba en la placa de desarrollo del sistema empotrado completo ("hardware" + "software"). Todos los apartados deben funcionar perfectamente para obtener la máxima nota.

3.6) Documentación del diseño y la implementación con FPGAs.

3.6.1). Memoria.

i. Estructura clara y ordenada.

ii. Explicaciones claras y suficientes para la comprensión del trabajo realizado.

iii. Inclusión de figuras adecuadas.

iv. Inclusión de datos relevantes.

3.6.2) Ficheros fuente de diseño.

i. Comentarios suficientes en los ficheros VHDL para su comprensión.

ii. Comentarios suficientes en los ficheros C para su comprensión.

Para el trabajo práctico autónomo (TA), será necesario realizar una presentación oral.

3.7) Presentación del trabajo práctico.

Exposición oral del trabajo realizado. Los criterios de valoración son los siguientes:

i. Estructura clara y ordenada.

ii. Explicaciones claras.

iii. Explicaciones suficientes para la comprensión del trabajo realizado.

iv. Inclusión de figuras adecuadas.

v. Inclusión de datos relevantes.

---

**Fuentes de información**

---

ÁLVAREZ RUIZ DE OJEDA, L.J., POZA GONZÁLEZ, F., **Diseño de aplicaciones empotradas de 32 bits en FPGAs con Xilinx EDK 10.1 para Microblaze y Power-PC**, Vison Libros,

ÁLVAREZ RUIZ DE OJEDA, L.J., **Diseño Digital con FPGAs**, Vison Libros,

---

---

**Recomendaciones**

---

**Asignaturas que se recomienda cursar simultáneamente**

---

Sistemas Electrónicos Digitales Avanzados/V05M145V01203

---