

EXPERIENCIA DOCENTE DE LA ENSEÑANZA DE LA ELECTRÓNICA DIGITAL BASADA EN TARJETAS DE DESARROLLO EN LA UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS

S.BORROMEYO y B.ROMERO

*Departamento de Ingeniería Telemática y Tecnología Electrónica. Universidad Rey Juan Carlos.
C/ Tulipán s/n, 28933, Móstoles, Madrid*

En este trabajo se describe la experiencia docente del uso de tarjetas de desarrollo basadas en FPGAs en la asignatura de Electrónica Digital II de la titulación de Ingeniería de Telecomunicación. Los resultados docentes han sido muy satisfactorios en dos aspectos: i) la gran motivación del alumnado al trabajar con dispositivos reales y ii) los resultados docentes obtenidos.

1. Introducción

En los últimos años ha sido espectacular el aumento del empleo de FPGAs (*Field Programmable Gate Arrays*) y de herramientas CAD (*Computer Aided Design*)¹ en el diseño de sistemas digitales. Debido a este cambio en el ámbito profesional, los informes de ACM (Association for Computing Machinery) e IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) sobre el desarrollo de guías curriculares de programas docentes de titulaciones relacionadas con las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicaciones) recomiendan la introducción de nuevos contenidos docentes que incorporen estos aspectos [1],[2].

En este trabajo se propone una metodología que incorpora estos contenidos a la asignatura de Electrónica Digital II, que forma parte de la asignatura troncal “Circuitos Electrónicos” de la titulación de Ingeniería de Telecomunicación en la Universidad Rey Juan Carlos (URJC). Para poder conjugar los contenidos teóricos propios de esta asignatura (circuitos secuenciales) con el aprendizaje práctico, tanto de herramientas CAD como del uso de FPGAs, se propone que en torno a un 50 % de la asignatura se imparta en el laboratorio, dedicándose estas horas a la implementación de circuitos secuenciales reales en tarjetas basadas en FPGAs.

2. Contenidos

La Electrónica Digital abarca muchos aspectos (ver Figura 1) entre los que cabe destacar: el Álgebra de Boole, los circuitos combinacionales, puertas lógicas, y familias lógicas, dispositivos y componentes lógicos, el análisis y la síntesis de circuitos secuenciales, y la conversión digital a analógica (D/A) y analógica a digital (A/D).

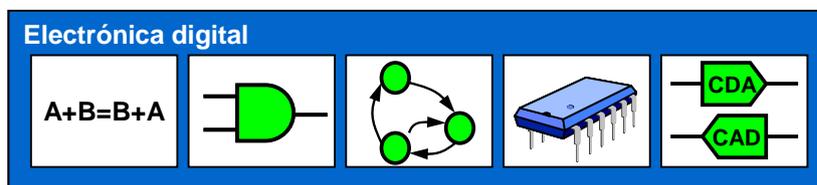


Figura 1. Diferentes aspectos que abarca la Electrónica Digital

En la asignatura de Electrónica Digital II se aborda el diseño, análisis y síntesis de circuitos secuenciales, así como la implementación de sencillos sistemas digitales secuenciales en dispositivos de lógica programable y en particular en FPGAs.

¹ Diseño asistido por computador

La asignatura se imparte en el 1^{er} cuatrimestre del 2º curso de la titulación de Ingeniería de Telecomunicación. Se trata de una asignatura cuatrimestral con una carga lectiva de 4,5 créditos (1,5 Teóricos y 3 Aplicados). Dentro del plan de estudios la asignatura es continuación de Electrónica Digital I (4,5 créditos) que se imparte en primer curso, y sirve como base de la asignatura de Sistemas Electrónicos Digitales (3º curso) y especialmente de la de Diseño de Circuitos y Sistemas Electrónicos (4º curso) en la que se abordarán con mayor profundidad los lenguajes de descripción de *hardware*, tratándose aspectos avanzados como pueden ser la configurabilidad, el empleo de genéricos, la segmentación y el *pipeline*.

A lo hora de planificar los contenidos que se han de impartir y teniendo en cuenta las consideraciones explicadas en la introducción, el programa de la asignatura se ha dividido en tres bloques: Circuitos Secuenciales Síncronos, Diseño Digital con Lógica Programable y las Prácticas (Tabla 1).

Programa de la asignatura de Electrónica Digital II de la titulación de Ingeniería de Telecomunicación de la Universidad Rey Juan Carlos			
Tema	Descripción	Teórica (horas)	Aplicada (horas)
CIRCUITOS SECUENCIALES SÍNCRONOS	Circuitos secuenciales básicos (repasso)	1	
	Autómatas de estado finitos: síntesis y análisis	4	6
DISEÑO DIGITAL CON LÓGICA PROGRAMABLE	Dispositivos de lógica programable: Metodología de diseño	2	
	VHDL: síntesis y simulación	8	8
PRÁCTICAS	Manejo básico de la placa de prácticas		2
	Control cruce de dos semáforos		3
	Diseño de un montacargas		3
	Diseño de un sistema de alarma doméstico		4
	Diseño de un cronómetro digital		4

Tabla 1. Programa de la asignatura de Electrónica Digital II

En el bloque de Circuitos Secuenciales Síncronos se explicará el análisis y diseño de sistemas secuenciales, máquinas de Mealy y de Moore. Para ello se comenzará el curso haciendo un breve repaso de los biestables, registros y contadores ya vistos en la asignatura de Electrónica Digital I.

En el bloque de Diseño Digital con Lógica Programable se describirá la metodología de diseño para este tipo de dispositivos además de explicar los conceptos básicos del lenguaje VHDL (*Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language*)². En paralelo con las clases teóricas se realizarán varios ejemplos sencillos de diseño y simulación tanto de módulos combinacionales

² Lenguaje de descripción de *hardware* de circuitos integrados de muy alta velocidad

(multiplexores, codificadores, unidad aritmético-lógica) como secuenciales (biestables, registros y contadores).

Se realizarán un total de cinco Prácticas con el objeto de que el alumno asiente sus conocimientos sobre el diseño de circuitos secuenciales de baja complejidad. La asistencia a clase es obligatoria y requisito imprescindible para aprobar la asignatura. A continuación (ver Tabla 2) se resumen las prácticas que se han planteado y los objetivos específicos que se pretenden cubrir con cada una de ellas:

Práctica	Objetivos
Manejo básico de la placa de prácticas	Aprender a manejar los periféricos de la placa de prácticas.
Control de un cruce de dos semáforos	Diseño de una máquina finita de estado simple sin entradas externas.
Diseño de un montacargas	Diseño de una máquina finita de estado simple con entradas externas.
Diseño de un sistema de alarma doméstico	Diseño de un sistema secuencial simple: máquina finita de estado y circuito de temporización.
Diseño de un cronómetro digital	Ejemplo de diseño de un sistema secuencial empleando VHDL estructural.

Tabla 2. Descripción de las prácticas de la asignatura de Electrónica Digital II

3. Herramientas y métodos

Para conseguir los objetivos docentes de la asignatura se emplearán como herramientas CAD, el ISE® WebPACK de Xilinx [3] y el ModelSim XE, de Mentor Graphics [4]. Con ellas se tiene un entorno único de diseño, simulación y síntesis de circuitos digitales sobre dispositivos de lógica programable de XILINX.

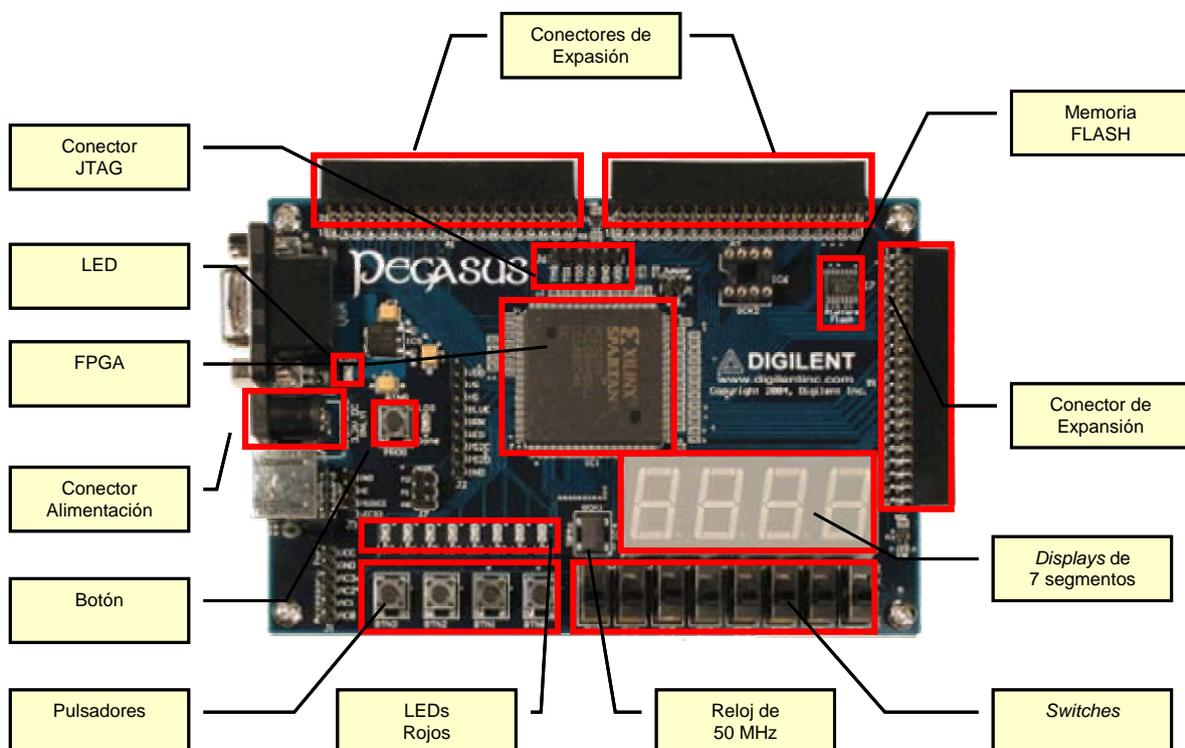


Figura 2. Placa PEGASUS de DIGILENT

La placa que se va utilizar en las prácticas es el modelo **PEGASUS de DIGILENT** [5]. En la figura 2 podemos ver dicha placa, que cuenta con una FPGA Spartan 2 de Xilinx, en particular la XC2S50. Además incluye una memoria Flash XCF01S, 96 pines de entrada/salida, *rutados* a 3 conectores de expansión, 8 *leds* rojos, 4 *displays* de 7 segmentos, 4 pulsadores, 8 interruptores, un puerto PS/2 y otro VGA. La programación de la FPGA puede realizarse mediante el estándar JTAG o mediante la memoria Flash.

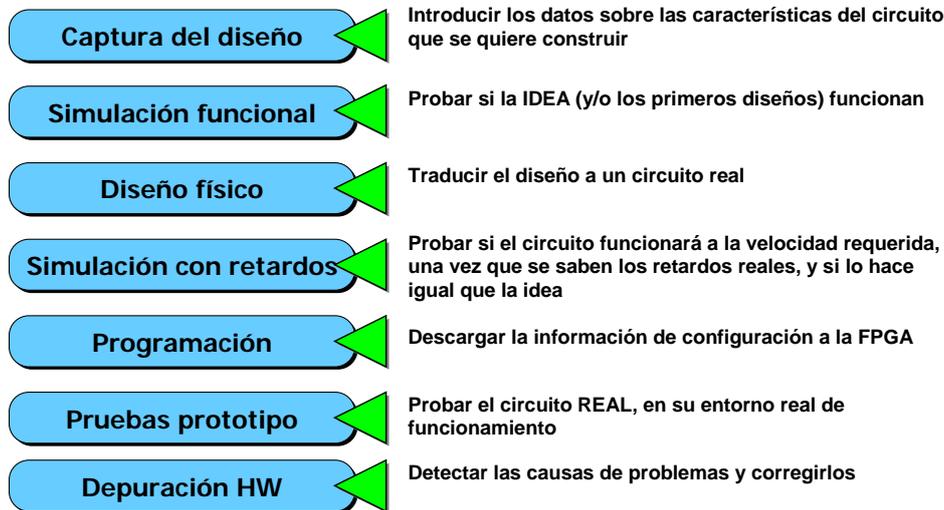


Figura 3. Metodología de diseño con FPGAs

La metodología que se sigue en el diseño y desarrollo de sistemas digitales basados en lógica programable es la que aparece esquematizada en la Figura 3. Los pasos a seguir son los siguientes:

- Se introduce el diseño que se quiere simular en el entorno de captura de esquemas de la herramienta, llamado Xilinx ECS. La captura del diseño puede realizarse mediante esquemáticos, utilizando lenguajes de descripción de hardware, ecuaciones algebraicas o editores de diagramas de estados (ver Figura 4).
- Se crea un banco de prueba o *testbench* para comprobar el funcionamiento del circuito, mediante la herramienta HDL Bencher.
- Se simula el funcionamiento del circuito invocando a la herramienta de simulación de circuitos digitales ModelSim XE, de Mentor Graphics.
- Se comprueba que el funcionamiento del circuito sea el deseado. Para ello se analizan las formas de onda de las señales. En caso de que los resultados no sean los esperados, se debe revisar el diseño empezando por la especificación de partida para localizar donde está el fallo, retocando entonces el esquema y repitiendo el ciclo de diseño.

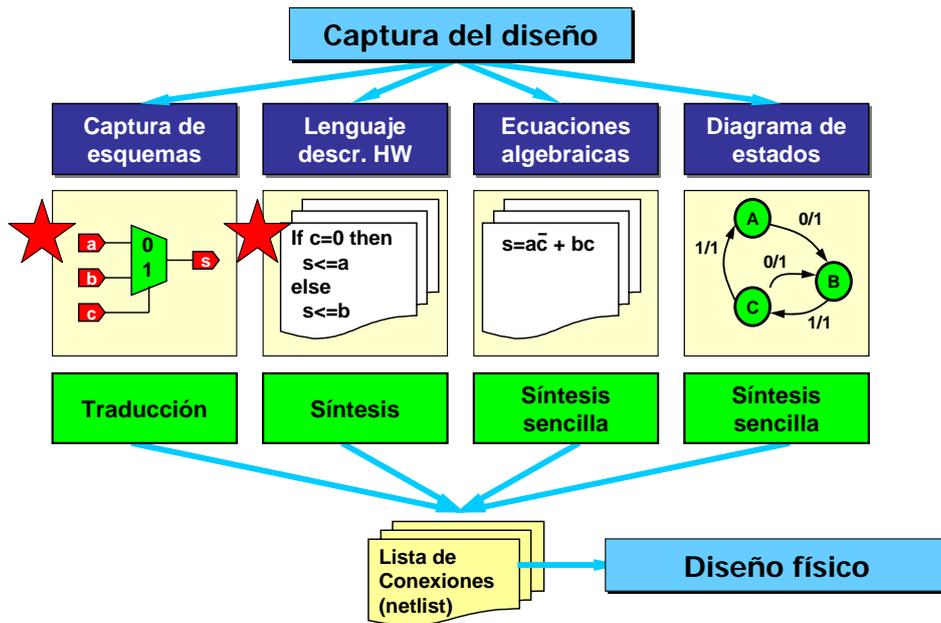


Figura 4. Captura del diseño

Comprobada la funcionalidad del diseño, el siguiente paso es la “traducción” a un circuito físico, (circuito real). Para ello utilizaremos una FPGA de Xilinx. Con la herramienta de Xilinx cubrimos las etapas que van desde la captura del diseño a la programación del dispositivo de lógica programable (Figura 5). La herramienta tiene automatizadas las etapas entre la captura y la programación de la FPGA.

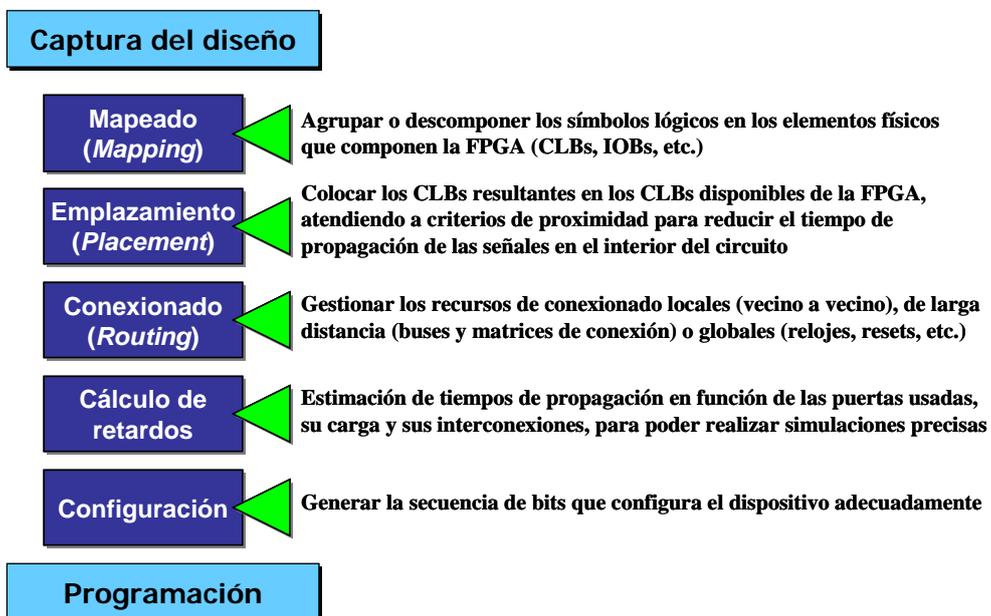


Figura 5. Diseño físico en FPGAs

Para realizar las prácticas, los alumnos cuentan con un Manual editado por la URJC que además de recopilar los enunciados de las prácticas de la asignatura de Electrónica Digital II, contiene una

descripción detallada tanto de la metodología como de las herramientas necesarias para realizar las prácticas. Este manual se estructura de la siguiente manera:

- Descripción de la metodología de diseño con dispositivos de lógica programable.
- Descripción de las herramientas CAD de diseño: ISE® de XILINX Inc y ModelSim XE, de Mentor Graphics.
- Descripción de la placa de prácticas: PEGASUS de DIGILENT.
- Enunciados de las prácticas, en el que se añade una práctica guiada. Práctica guiada en la que se explican todos los pasos a seguir de la metodología de diseño descrita con anterioridad.

Como ya se ha explicado en el apartado de contenidos las prácticas de la asignatura son obligatorias. Para su calificación se realiza una evaluación por “hitos”. Este tipo de evaluación se lleva a cabo en la sesión de prácticas y tiene la ventaja de favorecer que se realice el trabajo en clase y que los alumnos vengan a las sesiones con la materia preparada.

4. Conclusiones

El empleo de placas de desarrollo basadas en dispositivos de lógica programable y la propuesta de diseño de sistemas reales, además de adaptar los contenidos docentes a las tendencias y avances de la tecnología (recomendación a seguir en los informes de desarrollo de guías curriculares), permite cubrir todas las etapas del diseño digital.

Además, este tipo de prácticas basadas en placas de desarrollo frente a las basadas en placas de inserción simplifican y reducen el montaje del circuito que deben realizar los alumnos. De esta forma es posible que los alumnos profundicen más en los conceptos de diseño. Por otra parte los circuitos propuestos pueden tener mayor complejidad. Un ejemplo de esto es la práctica del control del cruce de dos semáforos en la que para poder implementarla en placas de inserción serían necesarios 6 CI con la complejidad de montaje que eso supone. Por otra parte, los alumnos ya han realizado prácticas con placas de inserción en la asignatura de Electrónica Digital I, con lo que este aspecto ha quedado ya cubierto.

Por otra parte, el uso de esta metodología ha repercutido beneficiosamente en los resultados académicos de los alumnos respecto a otros cursos en los que no se emplearon las placas de desarrollo. Así, se ha reducido en un 10% tanto el número de alumnos no presentados al examen como el número de suspensos y se ha aumentado en un 5% el número de notables y sobresalientes. Hay que señalar que el profesorado se ha mantenido.

En cuanto a los resultados docentes obtenidos, en la valoración de la asignatura por parte de los alumnos, éstos resaltan como aspectos positivos la resolución de problemas reales y la posibilidad de implementarlos en placas. Además dentro de esta evaluación, consideran cierta (4 sobre 5) la siguiente afirmación: “Las clases prácticas sirven para asentar los conocimientos teóricos”.

Referencias

1. Computing Curricula 2001, Computer Science (2004, Sep. 10). <http://computer.org/educate/cc2001/>
2. A. McGettrick, M. D. Theys, D. L. Soldan, and P. K. Srimani, “Computer engineering curriculum in the new millennium,” *IEEE Trans. Educ.*, vol.46, no. 4, pp. 456–462, Nov. 2003.
3. http://www.xilinx.com/ise/logic_design_prod/webpack.htm
4. <http://www.model.com/>
5. <http://www.digilentinc.com/Data/Products/PEGASUS/PEGASUS-brochure.pdf>