

Docencia Semipresencial en Laboratorios Docentes para Diseño de Hardware Digital en la ETSIT-UPM

Angel Fernández Herrero, Marisa López Vallejo, Ignacio Elguezábal

Departamento de Ingeniería Electrónica, E.T.S.I. Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid

angelfh@die.upm.es

RESUMEN

En esta comunicación se describe el planteamiento seguido en la ETSIT-UPM (Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación – Universidad Politécnica de Madrid) para la formación de sus alumnos en diseño de hardware digital, y la utilidad que tiene el trabajo práctico con herramientas reales y sistemas de prototipado en cada una de sus etapas. A continuación, se detalla la aproximación seguida en nuestra Escuela para posibilitar el acceso de un mayor número de alumnos a los recursos de laboratorio mediante el empleo de las TIC (Tecnologías de la Información y las Comunicaciones). El objetivo final del trabajo desarrollado es dotar a los alumnos de la capacidad para acceder de forma remota a herramientas software de desarrollo y, especialmente, a plataformas de prototipado reales, todas ellas destinadas al diseño de hardware digital. Finalmente, se introducen algunos detalles técnicos relativos a una parte fundamental del desarrollo, que es la aplicación Web para el acceso remoto a las placas de prototipado.

In this paper we describe the approach taken at ETSIT-UPM (School for Telecommunication Engineers – Technical University of Madrid) to teach digital hardware design, together with the possibilities of practicing with real software tools and prototyping platforms. Next, we detail our approach to facilitate access to the hardware laboratory to a greater number of students by means of TIC (Information and Communication Technologies). The final goal of our work is providing students with remote access to software development tools and prototyping platforms, all of them devoted to digital hardware design. Finally, we describe some technical details of the Web application providing remote access to the prototyping boards.

PALABRAS CLAVE:

Docencia semipresencial, diseño digital, prototipado, FPGA, laboratorio remoto, aplicación Web.

Distance learning, digital hardware design, prototyping board, FPGA, remote laboratory, Web-based.

I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El actual desarrollo de las TIC y la generalización de su empleo originan un interés creciente por el desarrollo de laboratorios remotos con propósitos docentes. Entre las ventajas que éstos proporcionan se cuentan:

- Ofrecer un mayor acceso a los recursos disponibles.
- Rentabilizar de forma significativa el uso de los mismos.
- Facilitar la inclusión de práctica en asignaturas teóricas.

El trabajo a que se refiere esta comunicación se enmarca en una de las líneas de acción prioritarias de la convocatoria 2007-08 de Proyectos de Innovación Educativa de la UPM: “*Incorporación de las nuevas tecnologías a la formación; Laboratorios remotos*”.

Este trabajo ha sido financiado en parte por la Universidad Politécnica de Madrid (IE07 0920-025) y por el Ministerio de Educación y Ciencia (TEC2006-13067-C03-03).

Su objetivo global consiste en extender el acceso remoto a los laboratorios docentes para incluir también herramientas y placas de prototipado para desarrollo hardware, puesto que trabajos anteriores se han centrado en el desarrollo de sistemas basados en microprocesadores o microcontroladores [1].

Para ello, se han planteado los siguientes objetivos parciales:

1. Proporcionar acceso remoto con capacidad gráfica a la red de ordenadores del laboratorio para desarrollo hardware, de forma que puedan emplearse a través de Internet las herramientas software de diseño disponibles. Son requisitos adicionales de esta conexión la seguridad, verificación de identidad y facilidad de instalación del software necesario en el lado cliente.
2. Implementar una aplicación Web asociada a una placa de prototipado con FPGAs (ver Anexo I), que permita interactuar con ella de manera remota, facilitando:
 - Configuración de los elementos de la placa de prototipado.
 - Descarga de configuraciones en los dispositivos de hardware reconfigurable.
 - Inyección y extracción de datos para la prueba de módulos implementados.
 - Monitorización de elementos de la placa (visualizadores y LEDs).
 - Accionamiento de interruptores y pulsadores virtuales.
3. Poner en marcha un portal Web que permita obtener acceso a la aplicación Web anterior, incluyendo además otras funcionalidades, como gestión de reservas, información de ayuda, soporte de consultas on-line y foro, etc. Para este objetivo se ha empleado la plataforma institucional basada en Moodle que proporciona la UPM.

II. DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL TRABAJO

A. Itinerario formativo para diseño de hardware digital en la ETSIT-UPM

Actualmente, la electrónica digital es una materia fundamental como soporte para un gran número de aplicaciones, como son informática, procesado de señal y comunicaciones, control de procesos, etc.

En la Figura 1 se muestran de manera esquemática las asignaturas que desarrollan los contenidos, tanto teóricos como prácticos, necesarios para adquirir competencias en el desarrollo de sistemas digitales en general, y de módulos hardware en particular, dentro de la titulación de Ingeniero de Telecomunicación de la UPM.

Primer curso	
Segundo curso	CEDG
Tercer curso	LCEL
Cuarto curso	DCSE
Quinto curso	LCSE

Figura 1. Itinerario formativo para desarrollo de hardware digital en la ETSIT-UPM

La siguiente relación realiza una descripción más o menos detallada de las mismas:

- CEDG (Circuitos Electrónicos Digitales, 2º curso) proporciona los fundamentos de los circuitos digitales, como elementos constitutivos de sistemas más complejos.
- LCEL (Laboratorio de Circuitos Electrónicos, 3º curso) facilita el diseño, montaje y medida de un sistema electrónico completo, incluyendo circuitos analógicos y digitales, a partir de unas especificaciones. Se hace énfasis en la implementación de una aplicación realista y en el aprendizaje de conceptos prácticos relacionados con la electrónica.

En esta asignatura, el alumno pone en práctica los conocimientos de electrónica, tanto analógica como digital, que ha adquirido en los cursos anteriores. Para ello, a lo largo de todo el semestre, con la ayuda y supervisión de los profesores, debe diseñar, construir y medir circuitos reales que implementen un sistema completo basado en unas especificaciones razonables para su nivel de conocimientos y el tiempo disponible.

- DCSE (Diseño de Circuitos y Sistemas Electrónicos, 4º curso) completa la formación básica en electrónica del Ingeniero de Telecomunicación, proporcionando conocimientos sobre diseño en un nivel de abstracción medio-alto.

Por una parte, complementa aspectos generales dentro de la enseñanza de la electrónica, que se derivan de la docencia en asignaturas previas. Por otra, incorpora otros aspectos esenciales, sin los cuales no se concibe el diseño electrónico actual, como son los siguientes:

- Los conceptos involucrados en el diseño electrónico, tanto analógico como digital y su impacto en las decisiones adoptadas.
 - Las alternativas de implementación existentes, identificando sus ventajas e inconvenientes y factores de compromiso, introduciendo de forma destacada los dispositivos lógicos programables.
 - Las metodologías y herramientas de diseño, abordando también las fases de verificación y test, y hablando de los lenguajes de descripción hardware.
- LCSE (Laboratorio de Diseño de Circuitos y Sistemas Electrónicos, 5º curso) permite a los alumnos diseñar, implementar y probar sistemas hardware digitales de mediana complejidad empleando herramientas reales de diseño y simulación.

En esta asignatura se introduce al alumno en el mundo de las herramientas CAD (*Computer-Aided Design*) para el diseño de circuitos digitales complejos, empleando como base el lenguaje de descripción hardware VHDL. Además de la especificación de los circuitos, su simulación de comportamiento para verificar funcionalidad, la síntesis sobre una tecnología destino, y la simulación final con análisis de temporización, el alumno tiene la posibilidad de descargar su diseño en una placa de prototipado basada en FPGAs, completando de este modo el ciclo de diseño.

Las asignaturas CEDG y DCSE son teóricas, mientras que LCEL y LCSE son laboratorios de tipo PBL (*Problem-Based Learning*). Por otro lado, CEDG, LCEL y DCSE son obligatorias para todos los alumnos de la titulación de Ingeniero de Telecomunicación, en tanto que LCSE es optativa dentro de la Especialidad de Electrónica.

B. Empleo de plataformas de prototipado en las distintas asignaturas

Las TIC tienen una relación directa con los Ingenieros de Telecomunicación, tanto por el empleo que esos profesionales hacen de ellas (lo que por otro lado se hace actualmente extensible a la mayoría de disciplinas, y en particular ingenierías), como porque son responsables del diseño y gestión de muchas de las infraestructuras y equipos que las hacen posibles.

Sin embargo, en este trabajo tratamos de la aplicación de las nuevas tecnologías a la propia docencia dentro de la titulación, y no de su relación con la práctica profesional. En este sentido, los dispositivos de lógica programable o reconfigurable (CPLDs y FPGAs), además de su importante interés industrial, facilitan desde hace años la implementación con costes reducidos de circuitos digitales de diversa complejidad con propósitos docentes.

Tres de las asignaturas descritas en el apartado anterior (sombreadas en la Figura 1) consideramos que son objetivos adecuados para la introducción de material práctico basado en el empleo de lógica programable:

- En LCEL es uno de los objetivos principales que el alumno se enfrente a los problemas prácticos que aparecen en el montaje de un sistema electrónico mixto de mediana complejidad. En este sentido, la tendencia en la industria es el empleo de dispositivos programables, donde el diseño y configuración se realiza mediante herramientas software adecuadas. Así pues, sería de interés que los alumnos tuvieran acceso a las técnicas de implementación actuales, que podrían ser dispositivos CPLD programados mediante esquemáticos, dado que es el primer laboratorio de electrónica que cursan.
- En DCSE, a diferencia de lo que sucede en otros centros universitarios, donde las cuatro horas semanales de esta asignatura se dividen en dos teóricas y otras dos de prácticas con herramientas reales, esta aproximación es compleja en la ETSIT por el elevado número de alumnos que la cursan (más de 400). Sin embargo, sería interesante buscar un mecanismo para ofrecer a los alumnos la posibilidad de realizar prácticas con dispositivos reales. En este caso es más conveniente apuntar a dispositivos más complejos, como FPGAs, y facilitar la introducción a los lenguajes de descripción hardware (como VHDL o Verilog).
- En LCSE, la formación en diseño de hardware digital con la ayuda de dispositivos FPGA como medio de prototipado es ya un objetivo en sí misma. El planteamiento de la asignatura incluye dos partes:
 - Una primera en forma de ejercicios guiados para aprender las bases de las técnicas de especificación hardware mediante VHDL.
 - Otra de tipo PBL, donde los alumnos diseñan un sistema completo partiendo de unas especificaciones dadas.

C. Consideraciones prácticas en el entorno actual

En primer lugar, las que se desprenden de nuestra situación particular (en la ETSIT):

1. El Laboratorio de Desarrollo Hardware del DIE (Departamento de Ingeniería Electrónica) cuenta con un número limitado de puestos de trabajo presenciales, todos equipados con placas de prototipado basadas en FPGAs. Estos puestos están destinados principalmente a la enseñanza en la Especialidad de Electrónica (LCSE), ya que no es posible atender asignaturas con elevado número de alumnos, como sucede con la troncalidad de la titulación de Ingeniero de Telecomunicación (LCEL y DCSE).
2. Los alumnos de especialidad (LCSE), en el último año de la titulación, habitualmente tienen ya numerosas tareas, en muchos casos simultaneando estudios y primeros trabajos, lo que dificulta su asistencia presencial continuada a las sesiones de laboratorio para el desarrollo de las prácticas propuestas. Si bien el número de alumnos no es elevado, es habitual que resulte difícil cuadrar sus horarios.
3. Encuestas realizadas al final del semestre en LCSE (ver Anexo II) muestran que los alumnos aprecian el planteamiento de la asignatura y la consideran de utilidad para su futuro profesional, destacando:

- El aprendizaje del lenguaje VHDL y el empleo de FPGAs.
- La aproximación PBL de la segunda parte de la asignatura.
- La aplicación de conceptos aprendidos en asignaturas previas.
- El diseño de un sistema complejo.

Al mismo tiempo, también consideran valiosa la libertad en el empleo de los recursos disponibles (herramientas y placas de prototipado) y la posibilidad de realizar los desarrollos a su gusto, sin una temporización estricta. En la asignatura se les proporcionan recomendaciones sobre las fechas intermedias en las que obtener resultados parciales, pero no se establecen horarios fijos.

También otras de carácter tecnológico relacionadas con las TIC:

4. El actual desarrollo de las redes telemáticas, materializado en Internet, junto con el acceso generalizado de los alumnos a las comunicaciones de banda ancha (ADSL, cable, etc.), hacen posible la conexión remota desde los hogares al escritorio de las máquinas de diseño disponibles en los laboratorios docentes.
5. Por otro lado, el establecimiento de sesiones remotas con capacidad gráfica dentro de una red (por ejemplo, para el acceso a herramientas de diseño) está habitualmente basado en el empleo de conexiones tipo VPN (Virtual Private Networks) [3] o Windows XP Remote Desktop [4], que proporcionan acceso total a los recursos de computación del laboratorio.

D. Soluciones adoptadas en la ETSIT-UPM

De las tres primeras consideraciones anteriores se desprende que en todas las asignaturas (obligatorias y de especialidad) resultaría de gran utilidad para los alumnos disponer de un procedimiento que les permitiera acceder al Laboratorio de Diseño Hardware de forma remota. De este modo, los recursos podrían ser aprovechados por un mayor número de alumnos, y se promovería el aprendizaje activo, dando en las asignaturas teóricas la posibilidad de experimentar con dispositivos reales mediante el prototipado de pequeños diseños basados en el material que se proporciona en clase.

Con esta idea, y teniendo en cuenta el estado actual de las comunicaciones (punto 4 del apartado anterior), en LCSE se facilita el acceso remoto a la red del Laboratorio, para que sea posible la conexión al escritorio de alguna máquina y el empleo del software de diseño disponible bajo licencia, que además precisa de capacidad gráfica en el lado cliente. Esto supone una mayor flexibilidad para los alumnos, pudiendo incluso realizar los ejercicios desde su propia casa, lo que habitualmente incrementa su motivación por la asignatura.

Para este acceso se está empleando como piloto el soporte VPN del Departamento, que permite establecer sesiones en la red del Laboratorio de Diseño Hardware. Para lograrlo sólo es necesario en el ordenador del usuario un servidor para el X Window System, como el proporcionado por el entorno de libre distribución Cygwin [8].

Por otro lado, puesto que el establecimiento de sesiones remotas con capacidad gráfica dentro de una red está habitualmente basado en el empleo de conexiones tipo VPN (punto 5 del apartado anterior), se ha seguido una aproximación diferente para el acceso a las placas de prototipado, similar a la empleada en [2] para simulación de dispositivos de microondas, con el objetivo principal de reducir los recursos necesarios en el lado cliente, de modo que un navegador Web sea suficiente. Así, el sistema resultante será útil a un gran número de estudiantes, en diferentes cursos y asignaturas, que no necesitarán software ni permisos especiales para obtener acceso a las FPGAs por un espacio limitado de tiempo, reduciendo además el riesgo de acciones no autorizadas, ya que el acceso está controlado por el servidor Web. Para lograr es-

tos propósitos, el desarrollo de la aplicación ha precisado de una gran variedad de tecnologías (tanto hardware como software) y entornos de desarrollo (VHDL, C, PHP, JavaScript).

Esta aplicación Web, junto a la actual disponibilidad en forma libre de las herramientas de diseño hardware para CPLDs y FPGAs (por ejemplo, el ISE WebPACK de Xilinx [10], o el Quartus II Web Edition de Altera [11]) dan a la vez la posibilidad de probar pequeños diseños, realizados en el propio ordenador, a muchos otros alumnos (LCEL y DCSE) que no tienen acceso físico al Laboratorio de Diseño Hardware. Así pues, para estos últimos el acceso remoto a los recursos es limitado, en el sentido de que no incluye las herramientas software de diseño.

E. Descripción de la plataforma Web de acceso remoto (Figura 2)

El Laboratorio de Diseño Hardware dispone actualmente de cuatro puestos, cada uno de ellos equipado con un ordenador, herramientas software para desarrollo hardware (Xilinx ISE y Mentor ModelSim) y una placa de prototipado para FPGAs del tipo XESS XSB-300E [9], que permite la prueba de los ejercicios implementados. Se eligió esta placa por el gran número de periféricos que tiene disponibles, lo que proporciona a los alumnos un enorme potencial para la realización de sistemas digitales.

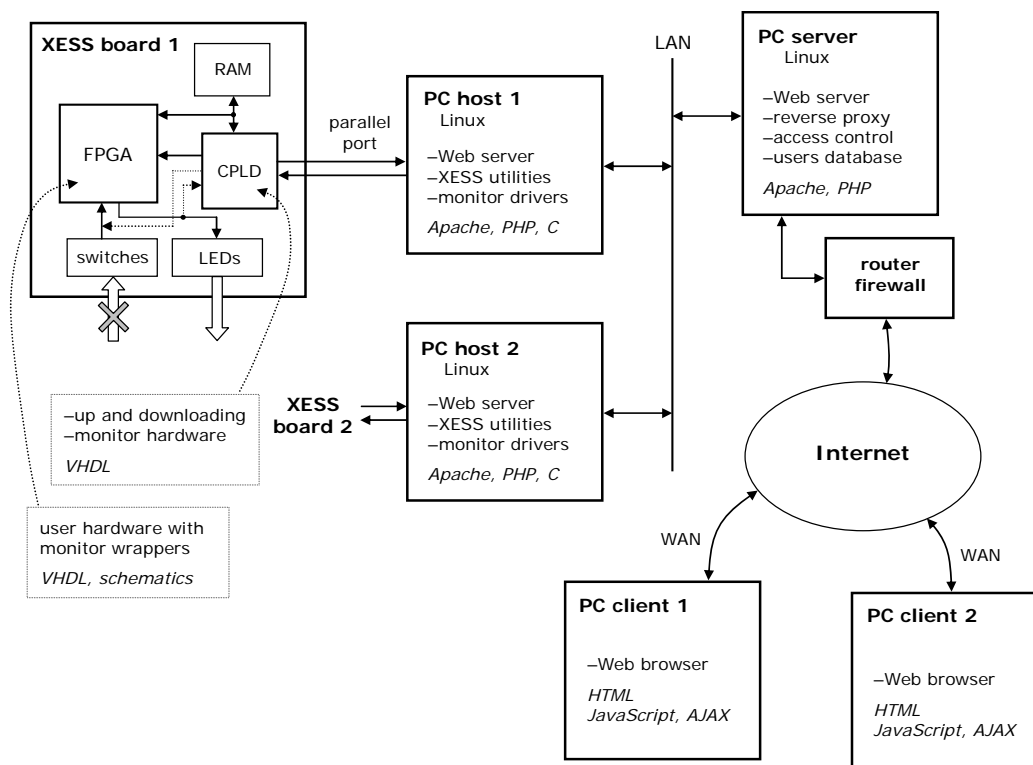


Figura 2. Diagrama de bloques de la plataforma Web de acceso remoto

1. Interacción con las placas de prototipado.

En una primera fase de desarrollo sólo algunos de los recursos de las placas han sido puestos a disposición de los alumnos a través del acceso remoto. Es el caso de los dispositivos de interacción manual (microinterruptores y LEDs) y de la memoria SRAM. Los primeros facilitan al alumno la realización de ejercicios simples (para iniciación al VHDL), mientras que la memoria abre la puerta a la implementación de aplicaciones más complejas (como procesamiento de señal u otros datos).

Las placas de prototipado elegidas disponen de una CPLD para operaciones auxiliares, como la carga de configuraciones en la FPGA o la carga y descarga de contenido en las memorias. Nosotros hacemos uso de ese dispositivo para emular el funcionamiento de los microinterruptores como entradas a la FPGA y monitorizar el estado de los distintos LEDs.

La implementación de los programas de comunicación entre ordenadores y placas ha sido una tarea crucial, ya que debe permitir la interacción con los periféricos escogidos de forma transparente a los alumnos. La sustitución de esos programas permite la adaptación de todo el sistema a nuevas placas con la reutilización de la mayor parte del código PHP y JavaScript.

2. Arquitectura de comunicaciones de la plataforma.

Los ordenadores del laboratorio proporcionan interfaz hacia el exterior de la red ejecutando un servidor Web, que se comunica con las placas de prototipado mediante la ejecución a través de PHP de varios programas externos. Algunos de ellos han sido tomados de las utilidades dadas por el fabricante, en tanto que otros se han desarrollado específicamente (empleando el lenguaje C) para interactuar con el hardware monitor que se carga en la CPLD.

Puesto que existen varios puestos en el laboratorio, una máquina adicional en la misma red ha sido preparada para proporcionar un solo punto de acceso hacia el exterior. Está también basada en Linux y realiza las siguientes tareas:

- Control de acceso, limitando el empleo del sistema a los alumnos registrados.
- Distribución de recursos, redirigiendo a cada estudiante a un puesto libre o denegando su acceso si no hay ninguno.
- Proxy inverso, para encaminar el tráfico entrante hacia el ordenador y placa del puesto correspondiente.

Como era uno de los objetivos, en el lado cliente sólo es necesario disponer de un navegador Web. Las páginas que se descargan para su ejecución en él están realizadas siguiendo AJAX (*Asynchronous JavaScript and XML*) [7], que es una técnica de desarrollo concebida para aplicaciones Web interactivas, basada en nuestro caso concreto en JavaScript. AJAX permite la recarga parcial del contenido de las páginas Web, generando el código HTML de forma local en el navegador, lo que incrementa la velocidad y la interactividad resultantes, muy importantes para nuestra aplicación.

III. CONCLUSIONES

En esta comunicación se ha tratado la aproximación seguida en la ETSIT-UPM para facilitar el acceso remoto de los alumnos al Laboratorio de Diseño Hardware, junto con la descripción del entorno docente existente en el ámbito del desarrollo de hardware digital y la motivación que nos ha llevado a poner en marcha el sistema descrito.

Por un lado, se permite a los alumnos de la Especialidad de Electrónica el acceso remoto al escritorio de los ordenadores del laboratorio para que puedan emplear las herramientas software de diseño y simulación disponibles bajo licencia.

Por otra parte, se ha concebido una aplicación Web para proporcionar acceso a las placas de prototipado a alumnos de diversas asignaturas, aunque no tengan acceso físico al laboratorio o permisos en las máquinas del mismo. De este modo pueden realizarse ejercicios de diseño digital con el empleo de herramientas de libre acceso que ofrecen los fabricantes de dispositivos, y el laboratorio es útil para un mayor número de alumnos, en diferentes cursos y asignaturas, aprovechándose mejor los recursos disponibles.

Durante el presente curso se han realizado los desarrollos técnicos necesarios para la puesta en marcha de la plataforma y se está trabajando en su depuración y en la preparación de las guías docentes necesarias para su correcto aprovechamiento.

La evaluación final del planteamiento se realizará a partir del próximo curso académico y estará basada en datos obtenidos mediante las experiencias con alumnos a través de:

- Recolección automática de información estadística sobre el empleo de los recursos.
- Encuestas anónimas de opinión entre los usuarios del sistema.

El trabajo futuro incluye:

- Ampliación de los procedimientos de comunicación con las placas de prototipado para extender el conjunto de recursos ofrecidos en el lado remoto.
- Elaboración de material adicional para autoaprendizaje, de modo que los alumnos puedan obtener experiencia en diseño trabajando fuera del Laboratorio [5].

IV. ANEXO I. DISPOSITIVOS LÓGICOS PROGRAMABLES

Los dispositivos lógicos programables son circuitos integrados, de aspecto totalmente similar a cualquier otro (Figura 3), pero con la particularidad de que su funcionalidad no está definida al salir del proceso de fabricación.

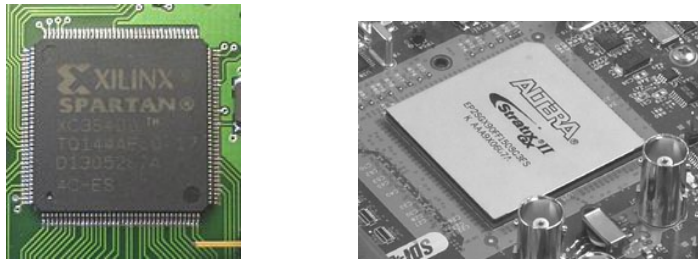


Figura 3. Dos FPGAs, de los fabricantes Xilinx y Altera, respectivamente (imágenes tomadas de [6])

Están constituidos internamente por bloques de lógica e interconexiones programables, que pueden ser reconfigurados, incluso con el dispositivo montado en su lugar definitivo, haciendo uso de herramientas software específicas.

De este modo, permiten la implementación de sistemas digitales de forma más flexible y sencilla, con coste y tiempo de desarrollo inferiores en relación con otros dispositivos de aplicación específica, donde la funcionalidad se determina durante la fabricación.

Son adecuados para numerosas aplicaciones industriales y en la docencia de sistemas digitales facilitan la consecución de prototipos donde los alumnos puedan experimentar con sus propios diseños.

En este trabajo se mencionan dos tipos de dispositivos de lógica programable, conocidos como CPLDs (*Complex Programmable Logic Device*) y FPGAs (*Field-Programmable Gate Array*). Sin entrar en detalles, la diferencia entre ambos estriba en el mayor tamaño y densidad de los segundos, así como en su distinta arquitectura interna, mucho más flexible. Por su parte, los primeros tienen un coste inferior y es más sencillo definir su funcionalidad.

V. ANEXO II. RESULTADOS DE LA ENCUESTA LCSE 2007-08

ASIGNATURA

(contestaciones entre 0 y 5, datos de 19 encuestas, se muestran la media aritmética y la desviación típica)

– Interés de la asignatura (tal como se ha impartido)	3,8	0,2
– Nivel de los conocimientos impartidos	3,4	0,8
– Dificultad de la asignatura	4,0	0,3
– Es adecuado el material docente facilitado (presentaciones, enunciados, fuentes)	3,3	1,0
– Valoración del planteamiento de prácticas realizado (1ª guiada, proyecto final)	3,3	0,4
– El esfuerzo realizado ha compensado lo aprendido	3,6	1,1
– La asignatura te ha proporcionado lo que esperabas	3,3	0,6
– Has comprendido la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos	3,8	0,5
– Califica la asignatura en su conjunto (0 a 10)	7,3	0,7

Lo mejor

(se indica el número de respuestas de cada tipo)

- Aprender VHDL, utilizar FPGAs y VHDL (empleados en el mundo laboral) (7)
- Planteamiento y objetivos de la asignatura interesantes, desarrollar desde cero un sistema completo, aproximación basada en diseño (4)
- Aplicación de los conocimientos en un sistema complejo, repaso de conceptos de otras asignaturas, se ve la aplicación de otras asignaturas (3)
- Libertad de horario, libertad para desarrollar a nuestro gusto (3)

Causas de los problemas encontrados (pueden marcarse 2 causas)

(datos de 21 encuestas, sólo 1 sin ninguna marca, se indica el número de respuestas)

- Problemas con el VHDL (13)
- Problemas con las herramientas (10)
- Falta de comprensión del problema propuesto (10)
- Errores del enunciado (0)

REFERENCIAS

- [1] Alexander Zlotnik, Juan M. Montero, Javier Macías, Rubén S. Segundo, "DRAC (Distributed Remote ACess system). An On-line Project-based Learning Tool", *IX Simposio Internacional de Informática Educativa (SIIE'2007)*, Oporto (Portugal), noviembre-2007.
- [2] R. M. Nelson, A. N. M. Shariful Islam, "MES – A Web-Based Design Tool for Microwave Engineering", *IEEE Transactions on Education*, febrero-2006.
- [3] R. Venkateswaran, "Virtual Private Networks", *IEEE Potentials*, febrero/marzo-2001.
- [4] R. Hashemian, J. Riddle, "FPGA e-Lab, a Technique to Remote Access a Laboratory to Design and Test", *IEEE International Conference on Microelectronic Systems Education (MSE'2007)*, San Diego (California), junio-2007.
- [5] J. C. Boluda, M. A. Peiro, M. A. L. Torres, R. Girones, R. J. C. Palero, "An active methodology for teaching electronic systems design", *IEEE Transactions on Education*, agosto-2006.
- [6] es.wikipedia.org/wiki/FPGA y en.wikipedia.org/wiki/Fpga
- [7] en.wikipedia.org/wiki/AJAX
- [8] www.cygwin.com
- [9] www.xess.com
- [10] www.xilinx.com
- [11] www.altera.com