

Implantación de un método totalmente práctico para el aprendizaje de contenidos de las materias sobre Estructura, Organización y Arquitectura de Computadores mediante lenguaje VHDL y tecnología FPGA.

María de los Ángeles Cifredo-Chacón

*Departamento de Ingeniería en Automática, Electrónica, Redes y Arquitectura de Computadores, Escuela Superior de Ingeniería.

mangeles.cifredo@uca.es

RESUMEN:

Esta memoria recoge la experiencia obtenida al implantar un nuevo método de docencia para las materias relacionadas con la estructura, organización y arquitectura de computadores. El objetivo era conseguir una mayor participación del alumno siguiendo un procedimiento de aprendizaje eminentemente práctico. El alumnado ha adquirido las competencias relativas a la materia mediante una interacción continua con su ordenador portátil, lo que ha facilitado que el trabajo personal del alumno haya sido una continuación del trabajo desarrollado en el laboratorio.

El método proponía utilizar una metodología de abajo-arriba para diseñar un computador muy simple, descrito mediante un lenguaje de descripción de hardware, VHDL, e implementarlo sobre un dispositivo programable, FPGA. Los estudiantes contaron con un entorno de desarrollo proporcionado gratuitamente por el fabricante de la FPGA, usándolo en el aula, el laboratorio y en su lugar de estudio. Durante las sesiones de laboratorio contaron con placas de desarrollo basadas en FPGA que les permitieron comprobar el correcto y real funcionamiento del computador así como programarlo.

Este nuevo método ha demostrado conseguir una mayor motivación del alumnado debido a su carácter práctico y al uso de herramientas y materiales que les han permitido continuar en su lugar de estudio con el mismo trabajado iniciado en el laboratorio. Esta técnica ha resultado ser mejor aceptada y efectiva que las tradicionales como la resolución de problemas en papel o los simuladores de procesadores usados en los antiguos laboratorios.

PALABRAS CLAVE: proyecto, innovación, mejora, docente, arquitectura de computadores, método práctico, FPGA, VHDL.

INTRODUCCIÓN

Las materias relativas a la tecnología, estructura, organización y arquitectura de computadores forman parte del núcleo formativo de la titulación de Ingeniería Informática. Tradicionalmente estas asignaturas se han impartido mediante clases teóricas y usando simuladores de arquitecturas específicas. Sin embargo, en los últimos años se ha comprobado que este método dista de ser eficaz a la vez que desmotiva al alumno a su aprendizaje.

Hoy en día los alumnos consideran al ordenador una herramienta fundamental para casi todo, especialmente los estudiantes de Ingeniería Informática. Es importante para ellos que cualquier actividad esté vinculada al uso de ordenadores, y comprenden mejor los problemas que resuelven por este medio que si tienen que hacerlo mediante bolígrafo y papel.

Tradicionalmente se optó por realizar clases prácticas usando simuladores o diseñadores lógicos, pero la experiencia de los años ha demostrado que no consiguen afianzar en los alumnos el conocimiento básico sobre el funcionamiento de los computadores.

Durante los últimos años se ha producido un notable descenso del precio de los dispositivos programables FPGA y todos los fabricantes ofrecen la posibilidad de usar sus herramientas de forma gratuita. Son por tanto un método económico, potente y completo para que el alumno pueda diseñar cada uno de los bloques que constituyen un computador, simularlos y posteriormente verlos funcionar mediante el uso de placas de desarrollo.

El uso de esta tecnología programable requiere el aprendizaje de un lenguaje de descripción de hardware como el VHDL. Sin embargo, es suficiente con comprender algunos conceptos y descripciones básicas para diseñar un computador sencillo. El aprendizaje de VHDL se integra con el aprendizaje de los elementos y funcionamiento de un computador.

No es la primera vez que se plantea este enfoque para la enseñanza de las arquitecturas hardware. En (1) los autores proponen la enseñanza de la materia Arquitectura de Computadores utilizando lenguajes HDL y FPGA pero establecen unos prerrequisitos sobre sistemas digitales, estructuras algebraicas y física de computadores de los que no siempre se parte y plantean una extensión temporal del método de más de un semestre. Con el método propuesto en (2) los alumnos diseñan una ALU propuesta y han sido previamente entrenados en el lenguaje y el entorno de desarrollo sin integrar el aprendizaje de la estructura del computador en estas fases. Finalmente en (3) se presenta un enfoque totalmente práctico y jerárquico para aprender el funcionamiento de un computador básico diseñándolo desde cero, sin embargo, no integran el aprendizaje básico del lenguaje VHDL.

No es fácil introducir este cambio de enfoque en el estudio de las materias de estructura, organización y arquitectura de computadores. Los alumnos no siempre cuentan con el bagaje suficiente para afrontar el diseño de sistemas digitales mediante HDL y FPGA, debiendo incorporarse algunos conceptos a lo largo del desarrollo de la asignatura.

Otro de los inconvenientes es el proceso de transición desde la técnica tradicional a este nuevo enfoque. El cambio es importante y requiere de una reestructuración del equipo de laboratorio y de que el alumno pueda utilizar su ordenador portátil en todas las actividades de la asignatura. Tampoco debe olvidarse la preparación de los profesores ni la documentación que se preparará o recomendará a los alumnos. Es necesario renovarla al completo y decidir una arquitectura de computador adecuada sobre la que desarrollar el aprendizaje. Estas nuevas metodologías requieren un trabajo casi diario por parte del alumno, que al disponer de la herramienta de forma gratuita y apoyado por la documentación disponible en un curso on-line, llegan a cada sesión de clase habiendo practicado los conceptos aprendidos, al igual que lo hacen en las asignaturas de programación software.

Este nuevo método se ha experimentado con una asignatura de tercero específica de la especialidad "Ingeniería de Computadores". Los alumnos que se matricularon en esta materia no presentaban conocimientos suficientes sobre sistemas digitales, estructuras y arquitecturas de computadores a pesar de haber cursado y aprobado anteriormente tres asignaturas de esta disciplina con una duración de un semestre cada una. El enfoque de esas asignaturas fue totalmente teórico y ahora, llegados a la especialidad de Ingeniería de Computadores, se revelaban las desventajas de la enseñanza tradicional del hardware.

METODOLOGÍA

Durante el curso 2013-2014 la asignatura "Técnicas de Diseño de Computadores" de la especialidad "Ingeniería de Computadores" del Grado en Ingeniería Informática, contó con 12 matriculados.

La asignatura se organizó con tres tipos de actividades:

- Clases en aula. Los alumnos usaron sus equipos portátiles, siempre que fue posible, para practicar las descripciones VHDL de los circuitos explicados y comprobar su correcto funcionamiento mediante un simulador.
- Clases en laboratorio. Los alumnos descargaban los diseños creados y simulados en las placas de desarrollo con FPGA.
- Trabajo individual del alumno. Los alumnos rectificaban errores que en las actividades anteriores hubiesen aparecido. Por otra parte, también se les propuso nuevos ejercicios de descripción y simulación.

En cuanto a la planificación establecida para impartir los contenidos se estableció lo siguiente:

- Semanas 1 y 2: Circuitos combinacionales del computador con VHDL. Simulación y verificación en la placa FPGA.
- Semanas 3 y 4: Circuitos secuenciales del computador con VHDL. Simulación y verificación en la placa FPGA.

- Semanas 5, 6 y 7: Camino de Datos y Memoria del computador. Descripción VHDL. Simulación y verificación en la placa FPGA.
- Semanas 8, 9 y 10: Máquinas de estado, unidad de control y diseño de un computador simple a partir de los bloques diseñados durante las semanas anteriores. Descripción VHDL, simulación y verificación en la placa FPGA.
- Semanas 11, 12: Procesadores embebidos de Xilinx: Picoblaze y Microblaze.
- Semanas 13, 14 y 15: Realización, proyecto final individual donde cada alumno debía diseñar un nuevo computador diferente al utilizado para desarrollar la asignatura. Cabe destacar, que la descripción de este nuevo modelo de computador debía reutilizar los módulos de circuitos creados a lo largo del curso.

RESULTADOS

Los resultados del aprendizaje fueron medidos mediante evaluación continua y un examen final.

La evaluación continua se llevó a cabo por dos medios:

- Cuestionarios on-line en el correspondiente curso virtual. Los cuestionarios, de duración 30 minutos, debían ser solucionados individualmente por cada alumno al término de cada tema. El conjunto de preguntas permitían comprobar que los alumnos habían adquirido los conocimientos necesarios sobre VHDL, FPGAs y la estructura del computador.
- Observación por parte de la profesora de la realización de las prácticas en el laboratorio. Semanalmente se pedía a los alumnos que demostraran el funcionamiento del bloque diseñado interactuando con los recursos de entrada/salida disponibles en la placa: interruptores, LEDs, visualizadores de siete segmentos, etc.

El examen final consistió en realizar un proyecto completo de un computador propuesto, incluida su programación. Los alumnos verificaron y presentaron el trabajo desarrollado, el examen se realizó en el laboratorio para disponer del material necesario. Sobre el examen es importante destacar que el computador propuesto se dividía en cinco bloques. A saber:

- Camino de datos
- Memorias RAM y ROM
- Estructura de salto y contador de programa
- Unidad de control
- Interconexión de todos los bloques anteriores para formar un computador completo.

Cada bloque completado sumaba una determinada puntuación, y solo aquellos alumnos que llegaran al quinto bloque estarían en situación de sumar un 10.

A lo largo de la experiencia se detectaron algunos problemas, a saber:

- No todos los alumnos disponen de un portátil personal adecuado. Este inconveniente tuvo como consecuencia que la actividad “clase en aula” tuviera que realizarse en el laboratorio para poder disponer de ordenadores personales para todos.
- El entorno de trabajo utilizado es demasiado exigente en cuanto a recursos del ordenador se refiere. Algunos alumnos no pudieron aprovechar la ventaja de continuar su trabajo en casa debido a este problema.
- El método es válido siempre y cuando el número de matriculados se mantenga en torno a los 15 alumnos. La atención del profesor requerida por los alumnos fue muy alta, especialmente durante las primeras siete semanas.

CONCLUSIONES

En este artículo se presenta un nuevo método para impartir las asignaturas sobre organización y arquitectura de computadores propias del grado en Ingeniería Informática. El método trata de adaptarse al modelo de aprendizaje preferido por alumnos pertenecientes a una generación usuaria de ordenadores desde corta edad. Esta técnica huye de las tradicionales clases magistrales y de los simuladores software que tan poco atractivos resultan para la nueva generación de alumnos. Junto a esta renovación docente, el método forma al alumno en las nuevas técnicas de diseño digital enfocado hacia los computadores, esto es, lenguajes VHDL y FPGAs. Este enfoque brinda una nueva perspectiva al alumno de Ingeniería Informática que habitualmente transmitían al profesor su descontento con este tipo de asignatura al no ver en ellas ninguna utilidad práctica para su carrera.

El experimento llevado a cabo durante el curso académico 2013-2014 puso de manifiesto que el nuevo método que se expone cumple la misión de inculcar al alumnado interés por conocer el funcionamiento interno de un computador y por otra parte, les dota de nuevas herramientas para diseñarlos: lenguajes de hardware. Solo en este semestre comprendieron más sobre estructura, organización y arquitectura de computadores que en las tres asignaturas afines cursadas anteriormente.

Otro gran éxito del método fue la soltura que consiguieron los alumnos para trabajar con la placa de desarrollo y su manual. Esta competencia la adquirieron gracias a la posibilidad de disponer de un número adecuado de placas en el laboratorio, acopio factible debido al reducido precio de este tipo de material en la actualidad. Es este avance tecnológico el que ha dado pie a este método de aprendizaje eminentemente práctico.

Como reflexión final, decir que aunque el método se ha probado en una asignatura de tercero, el método daría mejores resultados si se empleara desde las asignaturas afines

de primero. Sin embargo, esta reflexión es un reto, debido a lo numeroso de los grupos de estudiantes, tanto teóricos como prácticos, existentes en primer y segundo curso del Grado en Ingeniería Informática.

REFERENCIAS

1. Calazans, N. & Moraes, Integrating the Teaching of Computer Organization and Architecture with Digital Hardware Design Early in Undergrate Courses. *IEEE Transactions on Education*. 2001, 44, 109-119.
2. Fida, A. & Krad,H, Teaching Computer Architecture and Organization using Simulation and FPGAs. *International Journal of Information and Education Technology*. 2011, 1, 190-194.
3. Hatfield, B., Rieker & M., Jin, L, Incorporating Simulation and Implementation into Teaching Computer Organization and Architecture. *35th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*. 2005.