

LABORATORIOS EN CASA: UNA NUEVA ALTERNATIVA PARA CURSOS MASIVOS DE DISEÑO LÓGICO DIGITAL

J. P. OLIVER, F. HAIM, S. FERNANDEZ, J. RODRIGUEZ, L. CIGANDA, P. ROLANDO
Instituto de Ingeniería Eléctrica, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

Se presenta una nueva modalidad de laboratorio para el curso introductorio de diseño digital dictado para más de 150 alumnos. Los laboratorios son realizados por los estudiantes en sus casas utilizando una placa con lógica programable diseñada para el curso. Se dispone de más de 65 placas que son entregadas durante todo el semestre a grupos de alumnos. El curso se encuentra en su tercera edición en esta modalidad, con varias ventajas desde el punto de vista educativo y gran aceptación de los alumnos.

1. Introducción

Es bien conocida la importancia que tienen los laboratorios y las experiencias de diseño en la enseñanza de la ingeniería [1]. Para realmente aprender, el estudiante debe diseñar, experimentar y probar sus diseños. La alternativa tradicional es que el curso cuente con laboratorios donde los estudiantes concurren a realizar las prácticas de diseño. Esto puede formar parte del curso de electrónica digital o bien puede haber cursos o módulos de laboratorios separados.

Sin embargo, la realización de laboratorios no siempre es posible debido a problemas de diversa índole: masividad, costos, etc. Pueden entonces ensayarse alternativas que den una aproximación al laboratorio tradicional. La gran difusión de computadoras tanto dentro de las universidades como entre los estudiantes hace viable la alternativa de utilizar herramientas de software de diseño (*CAE tools*) y simular. Esto, sin lugar a dudas, es mejor que la realización exclusiva de los diseños en papel, pero no permite tener una visión completa del proceso de diseño, y podemos afirmar por experiencia propia que muchos problemas interesantes se dan a la hora de llevar un diseño a hardware. Otra alternativa recientemente propuesta consiste en laboratorios a distancia o remotos [2]. Esta alternativa requiere laboratorios equipados con hardware configurable en forma remota. Además, para el estudiante el efecto “caja negra” es muy grande, haciendo que todo el sistema sea comparable a un simulador.

En este trabajo se presenta una modalidad que mantiene las características de experimentación con hardware real y a su vez tiene ciertas características de educación a distancia, ya que no requiere el montaje de un laboratorio tradicional con los costos que esto trae aparejados. La solución adoptada cambia la forma de realizar los laboratorios, entregando placas con lógica programable durante todo el semestre a los estudiantes. De esta forma, los estudiantes realizan las prácticas en sus casas, asistiendo a la universidad solo para mostrar y defender su trabajo. Esta nueva modalidad, que se encuentra en su tercera edición, permite seguir realizando laboratorios de calidad en condiciones de masividad, cubriendo todas las etapas hasta llegar a un circuito funcionando.

Diseño Lógico es el primer curso de electrónica digital [3], y en él se ven temas de representación de información en formato digital, lógica combinatoria, sistemas secuenciales y una introducción a un lenguaje de descripción hardware sencillo. El curso tiene una duración de un semestre (15 semanas) con una carga horaria semanal de 3 horas de teórico y 1,5 horas de ejercicios, más 3 prácticas de laboratorio.

Al inicio del semestre se forman grupos de tres estudiantes y se les entrega un kit hardware (Fig. 1) especialmente diseñado para el curso [4], que queda en poder de los estudiantes durante todo el semestre. El kit cuenta con una placa de muy bajo costo (USD 28) basada en lógica programable, una fuente y un manual de usuario.

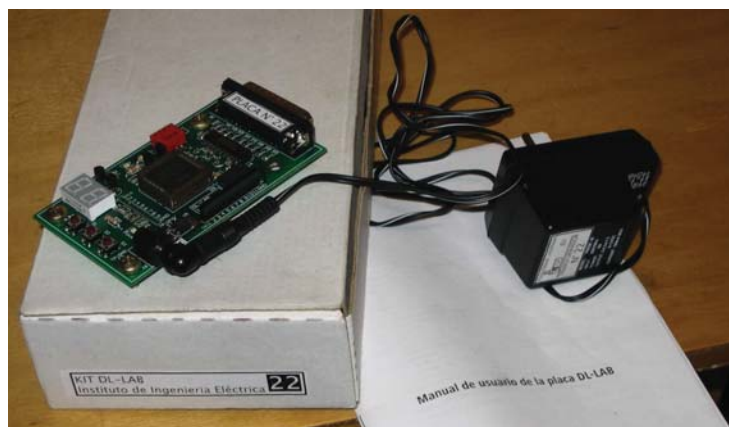


Figura 1 - Kit hardware del curso

Este kit es el soporte hardware para realizar los laboratorios del curso. Los estudiantes deben resolver completamente los problemas propuestos en sus casas o salas de computadoras de la Universidad. La solución completa consiste en el diseño, simulación, grabación en el chip y prueba en la placa. Durante estas etapas cuentan con tutoriales y el apoyo de docentes disponibles en clases de consultas o mediante correo electrónico.

Para la evaluación del trabajo, cada grupo tiene un horario asignado en el que realiza una breve presentación, muestra el hardware en funcionamiento y responde a preguntas sobre el diseño. En base a esto, se asigna un puntaje que forma parte de la nota final del curso.

Esta forma de evaluación permite que el aprendizaje se haga en forma continua, ya que para cada práctica los estudiantes deben repasar los conceptos transmitidos en el teórico. Además, durante la misma, se logra gran interacción de estudiantes y docentes, siendo la instancia de evaluación también una instancia de aprendizaje. Por ejemplo se permite que el estudiante analice los errores en el momento, que aprenda de ellos, y si es posible que los corrija ahí mismo.

2. Kit hardware

El kit hardware consta de una placa electrónica, una fuente de alimentación, software de diseño, un manual de usuario y un tutorial.

La placa (Fig. 2) fue especialmente diseñada para este curso teniendo en cuenta los requisitos del mismo. El objetivo fue diseñar una placa con un chip de lógica programable (PLD) y elementos de entrada salida que permitiera implementar un amplio conjunto de diseños, manteniendo un muy bajo costo y haciendo hincapié en un diseño robusto.

El bajo costo fue un requisito fundamental por dos motivos, primero porque se iban a construir una gran cantidad de placas, y segundo porque en caso de roturas las mismas debían ser repuestas por los estudiantes, esto implicó una cuidadosa selección de los componentes. El otro criterio de diseño importante fue la robustez, ya que los usuarios de las placas son estudiantes sin experiencia en manejo de dispositivos electrónicos y las mismas iban a ser utilizadas sin supervisión directa de docentes. Además este criterio de diseño redundaba en un muy bajo costo de mantenimiento.

El diseño final consta de un dispositivo de lógica programable con 64 macroceldas, un regulador de tensión de alimentación, reloj, displays de 7 segmentos y leds para observar salidas, pulsadores y switches para ingresar entradas, y conectores de expansión para acceder a los pines del chip. La lógica necesaria para la programación del PLD está incluida en la placa evitando así la necesidad de utilizar

cables especiales. El PLD se programa desde un PC conectando directamente la placa al puerto de impresora a través de un conector DB25.

El costo final fue de USD 28, sin contar la mano de obra de montaje, es decir que se incluyen los costos del circuito impreso, los componentes y la fuente. La fuente de alimentación es un eliminador de pilas estándar de 500mA.

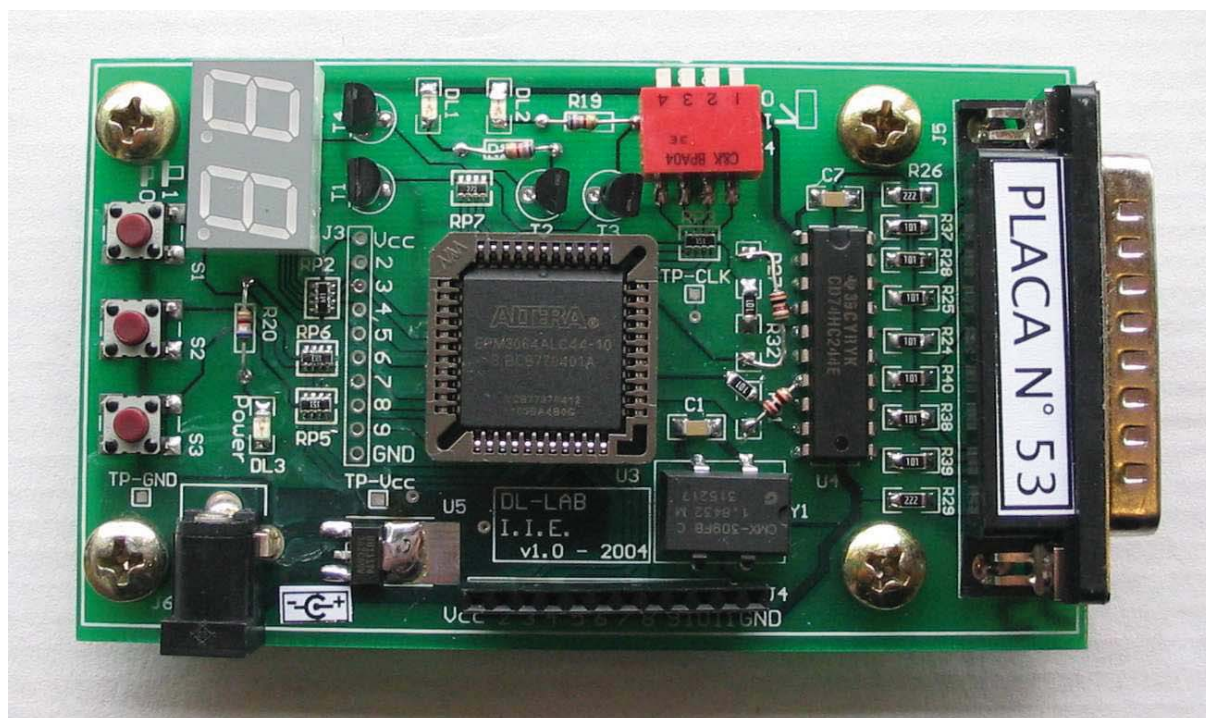


Figura 2 - Placa diseñada para el curso

Cada kit se entrega a los alumnos en una caja que contiene la placa hardware, la fuente y un manual de usuario. El manual de usuario contiene información detallada de la placa, las precauciones que deben ser tenidas en cuenta para trabajar con ella y las instrucciones necesarias para la programación del PLD.

Asimismo, de la página web del curso se puede descargar un tutorial que indica paso a paso como realizar un primer diseño en la placa. Se aconseja a todos los estudiantes realizar el tutorial completo antes de comenzar con las prácticas de laboratorio.

El software utilizado es el Max+Plus de Altera, dicha herramienta si bien es una herramienta comercial que no fue específicamente diseñada con fines educativos es muy fácil de usar y los estudiantes pueden instalar versiones libres en sus computadoras.

Esta herramienta de software actualmente está siendo discontinuada y va a ser sustituida por el Quartus, por lo que en nuevas versiones del curso se hará una migración a la nueva herramienta.

3. Descripción de las prácticas de laboratorio

Las tareas consisten en tres prácticas escalonadas que cubren los temas principales del curso, estos son: circuitos combinatorios, circuitos secuenciales modo reloj y circuitos realizados a partir de un lenguaje de descripción hardware de tipo RTL (Register Transfer Language).

Para aumentar la motivación de los estudiantes se buscaron diseños que se aproximen a aplicaciones reales. Cada tarea entonces es una parte del diseño final, los bloques combinatorios y los circuitos secuenciales de las primeras dos prácticas son reutilizados en la última práctica para dar lugar a una aplicación concreta. De esta forma se logra un circuito final que resuelve un determinado problema y se introduce el concepto de reutilización.

Al diseñar cada una de las prácticas se tuvo mucho cuidado en respetar los tiempos de dedicación de los estudiantes establecidos en el programa de la asignatura.

Actualmente se cuenta con dos conjuntos diferentes de prácticas: El primero consiste en emular el control del display de un reproductor de CD, como entradas tiene las funciones básicas de PLAY, PAUSE, FF y REW, y como salida muestra en el display el track activo y qué función se está realizando. La otra práctica consiste en un juego de ruleta simplificado, en el cual se pueden realizar apuestas y se muestra la cantidad de dinero disponible.

Actualmente está plenamente consolidada la utilización de lógica programable en laboratorios de diseño digital por sus grandes ventajas frente a la lógica discreta: se evitan problemas de cableado, introduce mayor confiabilidad, etc. Sin embargo, se introduce un efecto “caja negra” en el proceso de diseño que involucra la utilización de herramientas de software y la programación de un chip a través de una computadora. Para lograr una mejor comprensión del proceso, por un lado en el teórico se explica en detalle cómo es la arquitectura interna del PLD utilizado, y por otro se pide que los diseños se hagan en papel hasta llegar al diagrama esquemático del circuito. Este diagrama esquemático es ingresado directamente en el software de diseño. Experiencias previas realizadas por este equipo docente han mostrado que el ingreso de diseños por esquemáticos es la alternativa que mejor se adapta a nuestro curso.

4. Metodología de trabajo en el laboratorio

Al comienzo del curso se pide a los estudiantes que formen grupos de tres personas, y que se inscriban eligiendo un horario en el cual tendrán que realizar las defensas de sus prácticas. Una vez formados los grupos se reparte un kit a cada uno, que permanece en su poder durante todo el semestre hasta finalizado el curso.

Se establecen claramente las reglas del laboratorio así como las reglas de responsabilidad sobre el kit asignado. Cada grupo es responsable de su kit, debiendo devolverlo en buenas condiciones, en caso de roturas el grupo debe reponerlo.

Las letras de cada práctica se entregan con dos semanas de anticipación. Es decir que los estudiantes tienen dos semanas para resolver el problema planteado y mostrar el diseño realizado. Como ya mencionamos anteriormente existen dos juegos completos de prácticas, y dentro de cada uno de ellos hay pequeñas diferencias para asegurar trabajos originales. Cada práctica es realizada por los estudiantes en sus casas o en las salas de computación de la universidad. Si tienen dudas pueden realizar consultas en las clases de ejercicios o vía correo electrónico.

Un hito importante del curso es la evaluación de las prácticas. Cada grupo debe entregar un informe escrito y realizar una presentación de su diseño frente a un docente y una demostración del circuito funcionando en hardware (Fig. 3). Cada docente dispone de un listado de ítems a verificar y una serie de preguntas a realizar, como forma de homogeneizar las evaluaciones realizadas. Luego cada integrante del grupo responde en forma individual las preguntas y se le pide que realice pequeñas modificaciones al diseño original, como forma de evaluar su grado de comprensión del problema y el dominio de las herramientas utilizadas. De esta forma es posible evaluar individualmente a cada integrante del grupo.

Cada evaluación lleva aproximadamente una hora por grupo. La evaluación es también una instancia de aprendizaje, ya que en el caso de detectarse errores se fomenta al estudiante a resolverlos por sí mismo y corregirlos en el momento. Por otra parte, se aprovecha la interacción directa con los estudiantes para reforzar los conceptos principales de cada tema.



Figura 3 - Estudiantes mostrando su diseño

5. Portabilidad de la experiencia

Por sus características, esta experiencia educativa puede ser fácilmente trasladada o adaptada a diferentes contextos. Si bien fue pensada como una forma de lograr una buena calidad de enseñanza en cursos masivos, la misma puede ser aplicada a cursos con menor cantidad de estudiantes, o incluso en cursos no presenciales.

En esta sección se presenta, a modo de guía, el cálculo de horas docentes necesarias para implementar esta metodología de curso. Se comparan cuatro modalidades distintas, que se describen a continuación:

- Caso 1) Curso sin laboratorio, con una prueba en la mitad del curso y una prueba final.
- Caso 2) Curso con laboratorio tradicional con una prueba en la mitad del curso y una prueba final.
- Caso 3) Curso con laboratorio tradicional y una prueba final
- Caso 4) Nuestra metodología: laboratorio en casa y una prueba final

El cálculo de horas de cada caso no incluye las horas de las clases teóricas o de ejercicios, y tampoco incluye las horas necesarias para preparar y corregir la prueba final ya que éstas son comunes a todos los casos. Se presenta una comparación de horas teniendo en cuenta estas consideraciones (Fig. 4). De esta forma, se puede estimar el costo en horas docentes que conlleva incluir esta metodología en otros tipos de curso; por ejemplo, para un curso de 160 estudiantes sin laboratorios (Caso 1) incorporar trabajo de laboratorio con nuestra metodología le implica un aumento del 47% de sus horas docentes, mientras que incorporarlo con un laboratorio tradicional le significa un incremento del 83% (Caso 3).

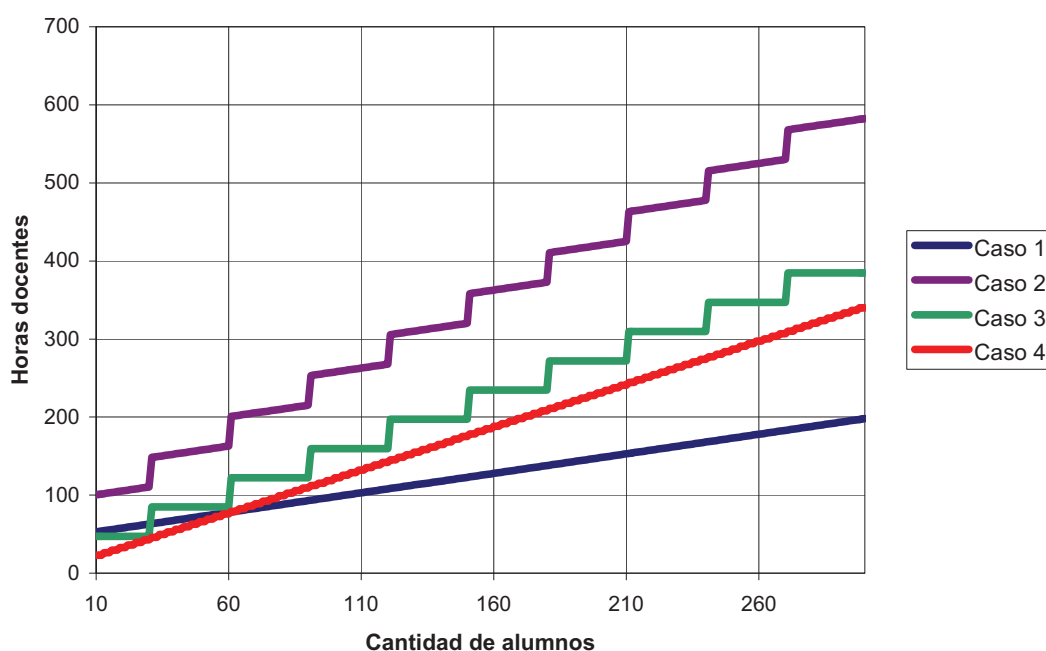


Figura 4 – Comparación de horas docentes necesarias para cada caso

Para completar el cálculo del costo de implementación de nuestra metodología, al costo de horas docentes hay que agregarle la inversión material inicial. Esta inversión consiste casi exclusivamente en el costo de las placas, siendo necesarias una cada tres estudiantes. Como ya mencionamos el costo de los componentes de cada placa asciende a USD 28 y a esto hay que agregarle el costo de la mano de obra necesaria para el armado de las mismas.

En nuestros tres años de experiencia con esta metodología, el costo de mantenimiento de las placas ha sido prácticamente nulo: solo se detectaron dos casos de soldadura fría que no implicaron costos de materiales y fueron rápidamente resueltos.

6. Conclusiones

Desde el punto de vista docente el nuevo curso fue exitoso, se cumplieron ampliamente los objetivos planteados, se diseñaron y construyeron los kits hardware, contándose con más de 65 placas.

Se pudo apreciar una muy buena receptividad por parte de los estudiantes frente a este nuevo método de dictado del curso, y la misma fue confirmada por una encuesta realizada por la Unidad de Enseñanza de la Facultad. Se percibió que trabajaron con independencia, demostrando un gran dominio de la herramienta de software y de la tecnología involucrada; en cuanto a las calificaciones obtenidas en los laboratorios, el promedio fue de 22,5 puntos sobre un total de 25. Un resultado no menor es que todas las placas han sido devueltas en perfecto estado.

Cabe destacar que el nuevo sistema tiene varias ventajas: requiere menor cantidad de horas docentes; no necesita un gran local con equipamiento de laboratorio; flexibiliza los horarios tanto para docentes como para los estudiantes y permite hacer más prácticas en menos tiempo. Estas propiedades hacen que el nuevo sistema sea mucho más escalable, ya que para atender más estudiantes sólo hay que escalar horas docentes y kits hardware.

Estas mismas características junto a su bajo costo comparativo hacen atractiva la idea de aplicar esta experiencia en otros contextos.

Referencias

- [1] P. C. Wankat and F. S. Oreovicz, *Teaching Engineering*, New York, McGraw-Hill, 1993.
- [2] Z. Nedic, J. Machotka, and A. Nafalski, *Remote Laboratories Versus Virtual and Real Laboratories*, in *33'd ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, Boulder, CO, USA, Nov. 5-8, 2003.
- [3] Página web del curso de Diseño Lógico. Visited on: Dic. 2005. [Online document]. Available: <http://iie.fing.edu.uy/ense/assign/dislog/>
- [4] J. P. Oliver, F. Haim, S. Fernandez, J. Rodríguez, and P. Rolando, *Hardware Lab at Home Possible with Ultra Low Cost Boards*, in *IEEE International Conference on Microelectronic Systems Education (MSE2005)*, Anaheim, CA, USA, June 12-13, 2005.