

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

Juan Pablo Oliver, Fiorella Haim, Sebastián Fernández, Javier Rodríguez, Lyl Ciganda, Pablo Rolando

*Instituto de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería
Universidad de la República, Montevideo, Uruguay*

Contacto: jpo@fing.edu.uy

Introducción

Este trabajo está basado en una tesis de maestría ¹ y en los siguientes trabajos presentados en conferencias: ^{2,3,4,5}.

Es bien conocida la importancia que tienen los laboratorios y las experiencias de diseño en la enseñanza de la ingeniería: *«La forma más usual de enseñar a diseñar y de tener una significativa experiencia en diseño es con proyectos de diseño. A los estudiantes, usualmente en grupos, se les da un problema de diseño y se les dice que lo diseñen. Puesto que los ingenieros aprenden a diseñar diseñando, este es ciertamente un procedimiento apropiado. Más aún, la gente recuerda las cosas que hizo. Nosotros*

1- J. P. Oliver, «Diseño Digital Utilizando Lógica Programable: Aplicaciones a la Enseñanza,» Tesis de Maestría, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, Marzo, 2007.

2- J. P. Oliver, F. Haim, S. Fernández, J. Rodríguez, and P. Rolando, Prácticas de laboratorio no presencial en diseño electrónico digital, in II Congreso de Enseñanza en Facultad de Ingeniería, Montevideo, Uruguay, Oct., 2004.

3- J. P. Oliver, F. Haim, S. Fernández, 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.

4- J. P. Oliver, F. Haim, S. Fernández, J. Rodríguez, L. Ciganda, and P. Rolando, Laboratorios en Casa: Una Nueva Alternativa para Cursos Masivos de Diseño Lógico Digital, in Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, Madrid, Spain, 12-14 July, 2006.

5- F. Haim, S. Fernández, J. Rodríguez, L. Ciganda, P. Rolando, and J. P. Oliver, Laboratory at Home: Actual Circuit Design and Testing Experiences in Massive Digital Design Courses, in International Conference on Engineering Education (ICEE), San Juan, Puerto Rico, July 23-28, 2006.

*podemos recordar nuestros proyectos de diseño (y nuestros laboratorios) veinticinco años después, pero no podemos recordar los detalles de las clases que recibimos.»*⁶, p. 173]

Para realmente aprender, el estudiante debe diseñar, experimentar y probar sus diseños. Según Eastlake⁷ «*La ingeniería sin laboratorios es una disciplina diferente. Si eliminamos los laboratorios deberíamos renombrar la carrera y llamarle Matemática Aplicada*».

La relevancia de los laboratorios en la enseñanza de la ingeniería en electrónica resulta evidente al estudiar las recomendaciones de programas de carreras de instituciones como IEEE/ACM y los criterios de organismos de acreditación de carreras (ABET, Mercosur).

La difusión de la educación a distancia ha llevado a repensar el tema de las experiencias prácticas de laboratorio, las alternativas son variadas, y van desde meros tutoriales o simuladores que corren localmente, hasta verdaderos laboratorios remotos con experimentos controlados a distancia. En Estados Unidos, ABET Inc. que es la institución encargada de acreditar las carreras de ingeniería en dicho país realizó, en el año 2002, un coloquio⁸ para definir el rol de los laboratorios en la educación del ingeniero, e intentar responder a las preguntas de si la educación a distancia puede lograr los mismos objetivos que los laboratorios reales.

Partiendo de la base que una de las características principales de la educación en ingeniería son los laboratorios reales y las experiencias de diseño, se generan una serie de cuestionamientos si un programa de educación a distancia no incluye clases reales ni experiencias de laboratorio. Como parte de este proceso se comienza preguntándose cuáles son los resultados de esas experiencias prácticas en el currículum, y si se pueden definir los atributos de los graduados en ingeniería que fueron formados con laboratorios tradicionales; para por último llegar a conocer si estos mismos atributos pueden ser logrados a través de programas de educación a distancia. Los participantes del coloquio fueron docentes de vasta experiencia en educación en ingeniería, principalmente en el área de laboratorios.

6- P. C. Wankat and F. S. Oreovicz, *Teaching Engineering*, New York, McGraw-Hill, 1993.

7- C. N. Eastlake, *Tell me, I'll forget; show me, I'll remember; involve me, I'll understand (The tangible benefit of labs in the undergraduate curriculum)*, in *Proceedings ASEE Annual Conference*, ASEE, Washington DC, 1986, p. 420.

8- L. D. Feisel and G. D. Peterson, *A Colloquy on Learning Objectives For Engineering Education Laboratories*, in *American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*, 2002.

Uno de los resultados fue la definición amplia de las experiencias de laboratorio como una «interacción personal con equipamiento/herramientas que lleva a la acumulación de conocimiento y habilidades requeridas en una profesión orientada a la práctica».

En consenso entre los participantes del coloquio se definieron los objetivos de aprendizaje para los laboratorios de ingeniería, que se citan textualmente (traducción libre del autor):

«Todos los objetivos comienzan de la siguiente forma: «Completando los laboratorios durante la carrera de ingeniería el estudiante podrá....»

Objetivo 1: Instrumentación

Aplicar sensores apropiados, instrumentación, y/o herramientas de software para realizar medidas de cantidades físicas.

Objetivo 2: Modelos

Identificar las fortalezas y limitaciones de los modelos teóricos como predictores del comportamiento del mundo real. Esto puede incluir evaluar si una teoría describe adecuadamente un acontecimiento físico y establecer o validar una relación entre los datos medidos y los principios físicos subyacentes.

Objetivo 3: Experimento

Idear un acercamiento experimental, especificar el equipo apropiado y los procedimientos, poner estos procedimientos en ejecución, e interpretar los datos resultantes para caracterizar un material, un componente, o un sistema de ingeniería.

Objetivo 4: Análisis de datos

Demostrar la capacidad de recoger, analizar, e interpretar datos, y de sacar y apoyar conclusiones. Poder hacer juicios basados en órdenes de magnitud, y conocer los sistemas de unidades y sus conversiones.

Objetivo 5: Diseño

Diseñar, construir, o montar una parte, un producto, o un sistema, incluyendo el uso de metodologías específicas, equipamientos, o materiales; alcanzando los requerimientos del cliente; desarrollando especificaciones del sistema a partir de los requerimientos; y probando y eliminando errores de un prototipo, de un sistema, o de un proceso usando las herramientas apropiadas para satisfacer los requisitos.

Objetivo 6: Aprender de las fallas

Reconocer los fracasos debidos a equipos defectuosos, partes, código, construc-

ción, proceso, o diseño, y entonces realizar un proceso de reingeniería para obtener soluciones efectivas.

Objetivo 7: Creatividad

Demostrar niveles apropiados de pensamiento independiente, creatividad, y capacidad de solucionar problemas del mundo real.

Objetivo 8: Psicomotor

Demostrar la capacidad de selección, modificación, y operación de herramientas y recursos apropiados de la ingeniería.

Objetivo 9: Seguridad

Reconocer los temas de salud, seguridad y ambientales relacionados con los procesos y las actividades tecnológicas, y manejarse con ellos responsablemente.

Objetivo 10: Comunicación

Comunicarse con eficacia acerca del trabajo de laboratorio con una audiencia específica, tanto en forma oral como escrita, a niveles que van desde resúmenes ejecutivos a informes técnicos completos.

Objetivo 11: Trabajo en equipo

Trabajar eficazmente en equipo, incluyendo la estructuración de responsabilidades individuales y colectivas; asignar roles, responsabilidades, y tareas; supervisar el progreso; cumplir con los plazos; e integrar las contribuciones individuales en el entregable final.

Objetivo 12: La ética en el laboratorio

Comportarse con los estándares éticos más altos, incluyendo la divulgación de información en forma objetiva e interactuando con integridad.

Objetivo 13: Conocimiento sensorial

Utilizar los sentidos humanos para recopilar información y hacer juicios sólidos de ingeniería al formular conclusiones sobre problemas del mundo real.»

Los defensores de los laboratorios virtuales o remotos señalan que varios de estos objetivos pueden alcanzarse fuera de los laboratorios reales, las excepciones son los objetivos de instrumentación, psicomotor y de conocimiento sensorial.

El abanico de posibilidades es muy grande, intentando realizar una taxonomía de las alternativas actuales a las experiencias de laboratorio en ingeniería en general, y a laboratorios de diseño electrónico digital en particular podríamos clasificarlas en:

Laboratorios reales

Esta es la alternativa tradicional en la cual los cursos cuentan con laboratorios donde los estudiantes concurren a realizar las prácticas de diseño. Esto puede formar parte del mismo curso o bien puede haber cursos o módulos de laboratorios separados.

Simuladores

Si se cuenta con computadoras, una alternativa es utilizar alguna herramienta software de diseño y llegar hasta la simulación de los mismos. Pensamos que esto sin lugar a dudas es mejor que la realización exclusiva de los diseños en papel, pero que 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. Con el uso de simuladores es posible depurar un diseño hasta cierto punto, pero no permiten realizar una depuración completa del mismo. La depuración o *debugging* del diseño es una tarea esencial en ingeniería.

Laboratorios reales controlados a distancia, laboratorios remotos

Recientemente se ha presentado otra alternativa que es la realización de laboratorios a distancia o remotos, esto puede o no ir acompañado de un curso a distancia; encontrándose una gran cantidad de publicaciones en el tema⁹⁻¹². Una breve historia de los laboratorios remotos puede consultarse en¹³. Esta alterativa no es fácil de implementar ya que se requieren laboratorios equipados con hardware que pueda ser configurado en forma remota. Además si bien se estaría cumpliendo con la premisa que el diseño realizado por el estudiante es llevado a hardware, el resultado del mismo sólo se está viendo también en forma remota. Pueden probarse con vectores de test, y obtener los vectores

9- J. Tuttas, K. Rütters, and B. Wagner, Telepresent vs. Traditional Learning Environments – A Field Study, in International Conference on Engineering Education, Valencia, Spain, July 22-26, 2003.

10- E. Lindsay and M. Good, Remote, Proximal and Simulated Access to Laboratory Hardware - A Pilot Study, in EdMEDIA World Conf. Educational Multimedia, Hypermedia, Telecommunications, Denver, CO, USA, Jun. 24-29, 2002.

11 J. Murphy, I. Grout, J. Walsh, and T. O. Shea, «Local and Remote Laboratory User Experimentation Access using Digital Programmable Logic,» in International Journal of Online Engineering (iJOE), vol. 1, 2005.

12- E. D. Lindsay and M. C. Good, «Effects of Laboratory Access Modes Upon Learning Outcomes,» IEEE Transactions on Education, vol. 48, no. 4, pp. 619-631, 2005.

13- NetLab - School of Electrical and Information Engineering at the University of South Australia, History of Remote Laboratories. Visited on: Aug. 2006. [Online]. Available: <http://www.unisanet.unisa.edu.au/Resources/netlab/NetLab/NetLab%20overview/History.htm>

de resultados asociados, pero todo se hace a través de computadoras y redes y el efecto «caja negra» es muy grande para el estudiante que está alejado manejando una computadora. En definitiva nos parece que, si bien en algunas áreas de ingeniería estos laboratorios pueden ser muy útiles, por ejemplo en aquellas que involucran elementos costosos, robots o plantas a controlar, en electrónica digital no se gana demasiado en comparación con la simulación, la mayor diferencia es que hay que aprender a utilizar herramientas de configuración y test de hardware vía redes.

Laboratorios virtuales

Es una alternativa similar a la simulación, pero con paquetes de software que dan la sensación de estar armando un experimento, ya que en la pantalla de la computadora se pueden ver símiles de instrumentos. Nuevamente pensamos que en el caso de electrónica digital esta alternativa no ofrece ventajas significativas.

Nuestra alternativa

Creemos que la alternativa que se presenta en este trabajo mantiene las características de experimentación con hardware real y a su vez tiene ciertas características de educación a distancia, sin requerir el montaje de un laboratorio tradicional, con los costos que esto trae aparejados; aunque sí consume una buena cantidad de horas docentes.

La propuesta presentada es entonces una alternativa para los cursos introductorias de diseño digital, en la cual se plantea sustituir los laboratorios clásicos por una nueva modalidad, sin perder calidad de enseñanza, o incluso mejorándola, y manteniendo un fuerte vínculo entre la teoría y la práctica del diseño electrónico.

Se propone un sistema en el cual la realización de la práctica es fuera del aula y se expone lo realizado en una defensa. Para esto fue necesario diseñar y construir una gran cantidad de kits hardware de bajo costo, para ser entregados en préstamo a los estudiantes durante todo el semestre. En estos kits los grupos de estudiantes pudieron llevar a la práctica sus diseños y mostrarlos a los docentes en una defensa oral obteniendo así una calificación.

Esta experiencia fue realizada en la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de la República, pero creemos que puede ser trasladada a otros contextos.

La nueva metodología del «Laboratorio en casa»

Como ya fue mencionado, la principal característica de esta nueva modalidad es que la mayor parte del trabajo de laboratorio es realizado por los estudiantes en sus casas (o en las salas de computadoras de la Facultad), pero trabajando con hardware real.

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 o pagarlo. Dado que el kit es de muy bajo costo se supone que un grupo de tres estudiantes puede afrontar un gasto de esa magnitud sin problemas.

Para la gran mayoría de los estudiantes esta es la primera vez que se enfrentan al manejo de hardware real, y en particular a conectar un elemento no estándar a una computadora. Para prevenir accidentes o daños se les recomienda leer cuidadosamente el manual de usuario que se entrega con cada kit.

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. 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. Las consultas realizadas en la lista de correo electrónico pueden ser respondidas por docentes, o también por otros estudiantes, en cuyo caso los docentes supervisan que la respuesta sea adecuada.

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.

Los kits hardware DL-LAB

El kit hardware DL-LAB consta de una placa electrónica, una fuente de alimentación, software de diseño, un manual de usuario y un tutorial (Figura 1)

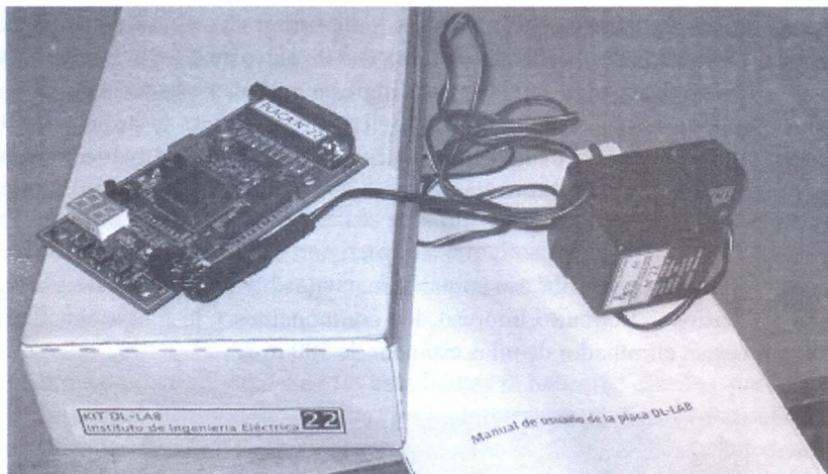


Figura 1 - Kit hardware DL-LAB

Desde hace unos cuantos años se utilizan en los laboratorios circuitos de lógica programable^{14, 15} en lugar de circuitos integrados discretos. La utilización de lógica programable ha demostrado ser muy efectiva, ya que evita problemas tecnológicos y de cableado, y permite que un diseño se lleve rápidamente del papel al circuito. El objetivo entonces fue diseñar una placa (Figura 2) que contara con un chip programable (PLD), y tuviera algunos elementos de entrada salida como para poder implementar allí una variada gama de diseños, pero manteniéndose en un costo muy reducido para poder fabricar una gran cantidad de estos kits, 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.

14- J. F. Wakerly, Digital Design Principles and Practices, Third ed., Prentice-Hall, 2000.

15- J. O. Hamblen and M. D. Furman, Rapid Prototyping of Digital Systems, Kluwer Academia Publishers, 2001.

El diseño final consta de un dispositivo de lógica programable con 64 macroceldas, un regulador de tensión de alimentación, reloj, dos 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 500 mA.

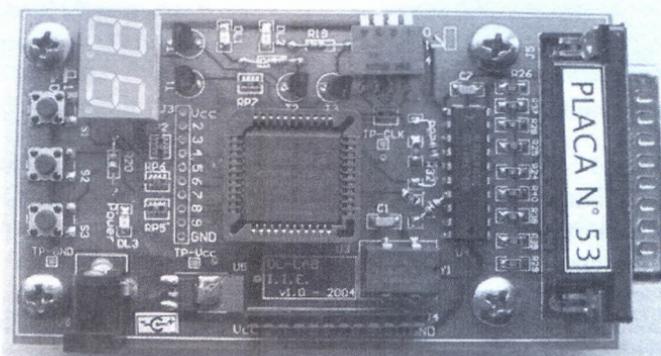


Figura 2 - Placa diseñada para el curso de Diseño Lógico

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 cómo 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, que si bien es una herramienta comercial no diseñada específicamente 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.

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)¹⁶.

Para aumentar la motivación de los estudiantes se buscaron diseños que se aproximen a aplicaciones del mundo real. Para poder lograr esto se dividió el diseño en tres etapas, realizadas como tareas separadas. Cada tarea se realiza en forma independiente, pero forma 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 un concepto muy importante como es el de la reutilización de bloques previamente diseñados

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. Para esto se realizaron mediciones de tiempos con estudiantes que ya habían cursado en años anteriores.

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.

Si bien la utilización de lógica programable en laboratorios de diseño digital posee grandes ventajas frente a la lógica discreta: se evitan problemas de cableado, introduce mayor confiabilidad, etc., 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

16- F. Hill and Peterson, Digital Logic and Microprocessors, John Wiley & Sons, 1984.

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 final 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, ya que el diseño realizado en papel se traslada directamente al esquemático. En ediciones previas del curso se utilizaron lenguajes de descripción hardware pero la dificultad extra de aprender el lenguaje y el efecto «caja negra» generaba mayores dificultades a los estudiantes en un curso introductorio.

Evaluación

Las tres prácticas de laboratorio están distribuidas a lo largo del semestre. Si bien las prácticas son realizadas por grupos de tres estudiantes que trabajan juntos durante todo el curso, al final del mismo cada alumno tendrá una nota individual por su trabajo en el laboratorio que formará parte de la nota final del curso junto con la de una prueba final.

La evaluación del trabajo de cada práctica se realiza en una presentación oral del diseño frente a un docente y una demostración del circuito funcionando en hardware. Previamente cada grupo debe entregar un informe escrito que incluye la descripción del diseño realizado y una serie de ítems establecidos en la tarea. Esto ayuda al docente a descubrir dificultades o errores cometidos, que pueden ser corregidos o explicados durante la instancia de evaluación.

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. Estas tres evaluaciones a lo largo del semestre sustituyen una prueba escrita parcial que se realizaba en la mitad del semestre antes de cambiar la modalidad de laboratorio. Este cambio en la 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, permite la interacción de estudiantes y docentes durante la evaluación 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. De esta manera, el tiempo docente se aprovecha mucho mejor, ya que en lugar de corregir pruebas escritas en un escritorio, interactúa directamente con los estudiantes, permitiendo además una mejor evaluación del conocimiento.

Herramientas administrativas

La nueva modalidad de laboratorios en casa implica nuevas tareas administrativas que se agregan al funcionamiento normal del curso, ya que es necesario administrar el préstamo de los kits, y coordinar los horarios de las presentaciones orales de las evaluaciones. Para esto han sido desarrolladas dos herramientas de software que agilizan y automatizan estos procesos. Primero una herramienta de registro vía web que permite realizar la asignación de horarios para las presentaciones orales; y segundo una planilla que calcula en forma automática las notas de cada alumno en función de las evaluaciones realizadas por los docentes para cada práctica y el puntaje obtenido en la prueba final.

Además se ha establecido un sistema de consultas vía correo electrónico para permitir que los estudiantes puedan evacuar sus dudas trabajando en forma remota.

Resultados académicos

Se realizaron medidas del tiempo utilizado por los estudiantes para realizar cada tarea, para ver si coincidía con el tiempo asignado en el programa del curso. De los datos suministrados por los propios estudiantes se obtuvo que la primer tarea les llevó un promedio de 12 horas, mientras las dos últimas unas 15 horas cada una. Esto da un total de 42 horas dedicadas al laboratorio.

Observando el proceso de aprendizaje, la primera impresión del equipo docente fue que los estudiantes que realizaron el curso en la nueva modalidad lograban adquirir mejores habilidades que aquellos que lo habían realizado en las ediciones previas con la modalidad tradicional. Esto se notaba especialmente en el manejo y dominio de las herramientas tanto hardware como software, y en las habilidades de diseño. Esta impresión que en una primera instancia fue totalmente subjetiva se confirmó después de tener los primeros resultados de las evaluaciones. Las notas obtenidas en las tres ediciones del curso se muestran en la Figura 3, siendo el promedio de 23,1 puntos sobre un total de 25.

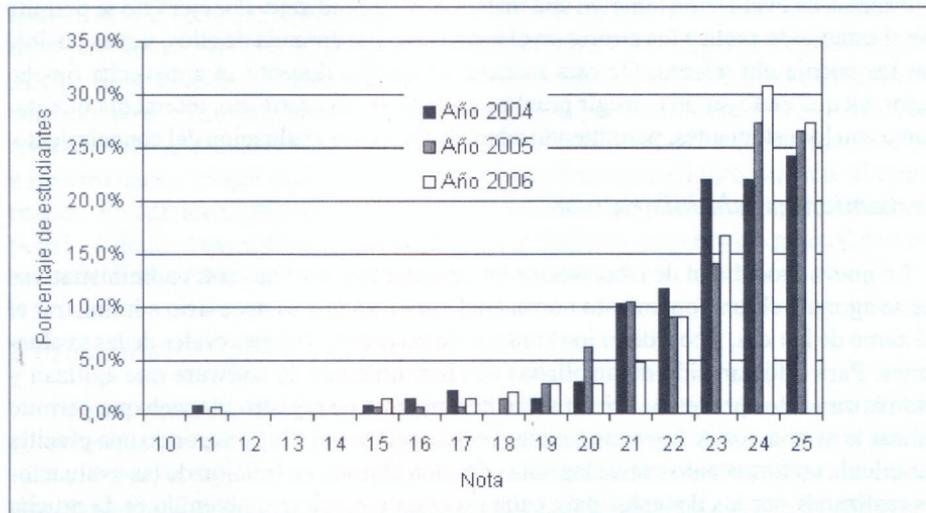


Figura 3 - Notas obtenidas por los estudiantes en el laboratorio

Si analizamos la nueva modalidad y la comparamos con los objetivos de aprendizaje para los laboratorios de ingeniería definidos por ABET y presentados en la introducción, podemos concluir que se cumplen casi la totalidad de los mismos. El que queda claramente incumplido es el objetivo de instrumentación, ya que la nueva metodología no incluye la interacción de los estudiantes con instrumentos de laboratorio tales como osciloscopios, fuentes, etc. Pero podemos decir que el resto de los objetivos se cumplen en forma parcial o total.

Para obtener la opinión de los estudiantes sobre la nueva modalidad del curso se realizó una encuesta diseñada por la Unidad de Enseñanza de la Facultad de Ingeniería. Esta encuesta fue realizada dos veces, la primera al final de la primera edición del curso en el año 2004, y la segunda al final de la tercera edición en el año 2006.

La primer vez que se realizó la encuesta fue respondida por unos 100 estudiantes. La primer pregunta fue: «¿Cuál es tu opinión respecto a la modalidad semipresencial del laboratorio?» Esta pregunta fue respondida por 93 estudiantes, 88 (94,6%) de los cuales tuvieron una opinión positiva, 4 (4,1%) dieron una opinión neutra, y sólo uno (1,1%) dio una opinión negativa. En la edición 2006 las respuestas a la misma pregunta se repartieron de la siguiente manera: 35 (77,8%) opiniones positivas, 6 (13,3%) neu-

tras y 4 (8,9%) negativas. Esta vez la encuesta fue realizada por un grupo menor de estudiantes, y si bien se nota una baja en las opiniones positivas, igual la modalidad es aprobada por una amplia mayoría.

Al preguntarles si incluirían alguna modificación en la forma de organizar el laboratorio dentro de esta modalidad semipresencial, la gran mayoría dijo que no haría modificaciones a la forma propuesta del laboratorio. Muchas de las sugerencias dadas por los estudiantes fueron incorporadas en ediciones posteriores del curso.

Estudio de costos

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. Basándonos en nuestra experiencia previa, para el cálculo asumimos que una práctica de laboratorio tradicional necesita 3 docentes durante 5 horas y pueden atenderse hasta 8 grupos. Se presenta una comparación de horas teniendo en cuenta estas consideraciones (Figura 4).

En nuestro curso, pasamos de impartir un laboratorio tradicional con dos pruebas semestrales (Caso 2) a la modalidad de laboratorio en casa (Caso 4). Esto representa un ahorro del orden del 45% en horas docentes para el caso de 160 estudiantes.

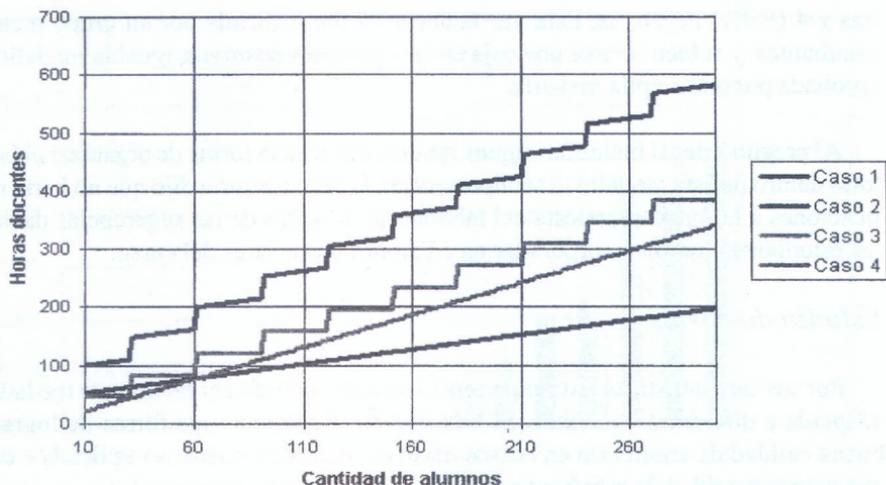


Figura 4 - Comparación de horas docentes necesarias para cada caso

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.

Conclusiones

El IIE cuenta ahora con más de 65 kits de lógica programable funcionando. El grupo de electrónica aplicada adquirió a lo largo del proyecto experiencia y habilidades en temas de diseño de placas, componentes electrónicos, chips programables, montaje superficial. Los estudiantes tuvieron a su disposición durante todo el semestre una placa de desarrollo para programar sus diseños. Es una opinión generalizada de todos los docentes del curso que los alumnos que cursaron en la nueva modalidad, en promedio, adquieren un dominio de la herramienta de diseño y programación de chips

cualitativamente superior al de los estudiantes que realizaron el curso en su versión anterior.

Desde el punto de vista docente el nuevo curso fue exitoso, se cumplieron ampliamente los objetivos planteados, se diseñaron y construyeron los kits, y se realizaron las primeras tres versiones del curso con la nueva modalidad.

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 dos encuestas realizadas por la Unidad de Enseñanza de la FI. 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 23,1 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 bibliográficas

[1] OLIVER J. P., «Diseño Digital Utilizando Lógica Programable: Aplicaciones a la Enseñanza,» Tesis de Maestría, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, Marzo, 2007.

[2] OLIVER J. P., HAIM F., FERNÁNDEZ S., RODRÍGUEZ J., y ROLANDO P., Prácticas de laboratorio no presencial en diseño electrónico digital, in II Congreso de Enseñanza en Facultad de Ingeniería, Montevideo, Uruguay, Oct., 2004.

[3] OLIVER J. P., HAIM F., FERNANDEZ S., RODRÍGUEZ J., y ROLANDO P., 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.

- [4] OLIVER J. P., HAIM F., FERNÁNDEZ S., RODRÍGUEZ J., CIGANDA L. , y ROLANDO P., *Laboratorios en Casa: Una Nueva Alternativa para Cursos Masivos de Diseño Lógico Digital*, in *Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica*, Madrid, Spain, 12-14 July, 2006.
- [5] HAIM F., FERNÁNDEZ S., RODRIGUEZ J., CIGANDA L., ROLANDO P., y OLIVER J. P., *Laboratory at Home: Actual Circuit Design and Testing Experiences in Massive Digital Design Courses*, in *International Conference on Engineering Education (ICEE)*, San Juan, Puerto Rico, July 23-28, 2006.
- [6] WANKAT P. C. y OREOVICZ F. S., *TEACHING ENGINEERING*, New York, McGraw-Hill, 1993.
- [7] EASTLAKE C. N., *Tell me, I'll forget; show me, I'll remember; involve me, I'll understand (The tangible benefit of labs in the undergraduate curriculum)*, in *Proceedings ASEE Annual Conference*, ASEE, Washington DC, 1986, p. 420.
- [8] FEISEL L. D. y PETERSON G. D., *A Colloquy on Learning Objectives For Engineering Education Laboratories*, in *American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*, 2002.
- [9] TUTTAS J., RÜTTERS K., y WAGNER B., *Telepresent vs. Traditional Learning Environments – A Field Study*, in *International Conference on Engineering Education*, Valencia, Spain, July 22-26, 2003.
- [10] LINDSAY E. y GOOD M., *Remote, Proximal and Simulated Access to Laboratory Hardware - A Pilot Study*, in *EdMEDIA World Conf. Educational Multimedia, Hypermedia, Telecommunications*, Denver, CO, USA, Jun. 24-29, 2002.
- [11] MURPHY J., GROUT I., WALSH J. y SHEA T. O., «Local and Remote Laboratory User Experimentation Access using Digital Programmable Logic,» in *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, vol. 1, 2005.
- [12] LINDSAY E. D. y GOOD M. C., «Effects of Laboratory Access Modes Upon Learning Outcomes,» *IEEE Transactions on Education*, vol. 48, no. 4, pp. 619-631, 2005.
- [13] NETLAB - School of Electrical and Information Engineering at the University of South Australia, *History of Remote Laboratories*. Visited on: Aug. 2006. [Online]. Available: <http://www.unisanet.unisa.edu.au/Resources/netlab/NetLab/NetLab%20overview/History.htm>
- [14] WAKERLY J. F., *Digital Design Principles and Practices*, Third ed., Prentice-Hall, 2000.
- [15] HAMBLÉN J. O. y FURMAN M. D., *Rapid Prototyping of Digital Systems*, Kluwer Academia Publishers, 2001.
- [16] HILL F. y PETERSON, *Digital Logic and Microprocessors*, John Wiley & Sons, 1984.