

# ENSEÑANZA EN LABORATORIOS DE ELECTRÓNICA: UNA FILOSOFÍA BASADA EN DISEÑOS NO GUIADOS DEL MUNDO REAL

*Juan Manuel Montero, Javier Ferreiros, Javier Macías Guarasa, Ricardo de Córdoba y José David Romeral*

**Departamento de Ingeniería Electrónica. ETSI Telecomunicación. UPM**

macias@die.upm.es

## 1. RESUMEN

Uno de los problemas más frecuentes con los que se encuentra un docente a la hora de abordar la impartición de un laboratorio de electrónica es mantener el difícil compromiso entre conseguir un alto contenido formativo y de aprendizaje, que éste guarde relación con sistemas lo más reales que sea posible y que el laboratorio no suponga una carga de trabajo inabordable para un alumno medio.

En nuestra ponencia describimos la experiencia que hemos llevado a cabo tras la transición del plan 64M2 (de seis años) al plan 94 (de cinco), durante los últimos seis años en la docencia de los dos laboratorios masivos de Electrónica en el tercer curso de la carrera, ambos asignados al Departamento de Ingeniería Electrónica de la ETSI de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid.

## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1. Entorno académico

La experiencia que describimos en este artículo se está desarrollando en el [Departamento de Ingeniería Electrónica](#) [1] de la [Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación](#) (ETSIT) [2] de la [Universidad Politécnica de Madrid](#) (UPM) [3], que imparte la titulación de Ingeniería de Telecomunicación de acuerdo al llamado *Plan 94* [4].

El Departamento de Ingeniería Electrónica cuenta en la actualidad con una plantilla de 28 profesores, 5 técnicos y 3 administrativos, además de unos 50 colaboradores y becarios en programas oficiales y asociados a proyectos.

Los profesores imparten docencia tanto de grado como de doctorado y la inmensa mayoría de las materias poseen un marcado carácter electrónico y van desde circuitos y sistemas electrónicos tanto analógicos como digitales (lógica cableada y programada) hasta especificación y diseño de sistemas electrónicos incluyendo diseño microelectrónico. En todos los casos, se imparten tanto asignaturas teóricas, como de laboratorio, y es en este último caso donde centramos la experiencia que describimos.

En el entorno académico descrito, se imparten dos laboratorios obligatorios de primer ciclo, en el tercer curso de la carrera [5]: Laboratorio de Circuitos Electrónicos (electrónica digital y analógica, LCEL en lo que sigue) [6] y Laboratorio de Sistemas Electrónicos Digitales (microprocesadores y sistemas digitales, LSED en lo que sigue) [7].

### 2.2. Breve descripción de los laboratorios

### **1.1.1 Laboratorio de Circuitos Electrónicos**

De acuerdo con su descriptor BOE, el LCEL trata del "diseño, montaje y medidas de circuitos electrónicos analógicos y digitales", y su objetivo fundamental es el de permitir al alumno el desarrollo experimental de los conocimientos de electrónica circuital tanto analógica como digital, que ha adquirido en los cursos anteriores.

En base a ellos, y con la ayuda y supervisión de los profesores de la asignatura, se trata de que el alumno diseñe, construya y mida circuitos reales que cumplan especificaciones razonables para su nivel de conocimientos de electrónica.

Igualmente, en este Laboratorio se comienza a abordar el desarrollo de habilidades básicas de diseño de alto nivel de sistemas más o menos complejos, como aptitud fundamental en la evolución de un ingeniero.

El soporte teórico lo ofrecen, fundamentalmente, las asignaturas de Circuitos Electrónicos Analógicos (CEAN) [8] y Circuitos Electrónicos Digitales (CEDG) [9], ambas impartidas en el segundo curso de la carrera.

### **1.1.2 Laboratorio de Sistemas Electrónicos Digitales**

De acuerdo con su descriptor BOE, el LSED aborda el uso de "equipos de desarrollo de microprocesadores. Diseño, construcción y prueba del hardware. Programación. Prueba del sistema completo y su depuración". Su objetivo fundamental es que el alumno aplique y consolide de una manera práctica los conocimientos adquiridos en la asignatura de tercer curso Sistemas Electrónicos Digitales [10] y en el LCEL, impartidas el mismo curso académico en el cuatrimestre anterior al Laboratorio.

La práctica consiste en el diseño, construcción y depuración de un sistema basado en un microprocesador o microcontrolador. El alumno deberá seguir las instrucciones detalladas en el enunciado de la práctica propuesta, que implicarán diversas fases de diseño, análisis, montaje y medida de circuitos y programas. Igualmente se hace especial énfasis en que los alumnos adquieran una visión práctica de los problemas con los que se encuentra el diseño del HW y el SW de sistemas electrónicos, en las implantaciones de prototipos reales de Laboratorio.

### **2.3. Problemas fundamentales en la transición al plan 94**

El LCEL procede de la fusión de dos laboratorios de electrónica que se impartían en el ya extinto plan 64-M2, uno orientado a la electrónica digital (Laboratorio de Electrónica Digital, obligatorio, en el primer cuatrimestre del tercer curso de la carrera) y otro de electrónica analógica (Laboratorio de Electrónica de Circuitos I, optativo, también cuatrimestral pero en el cuarto curso).

Los laboratorios descritos del plan 64-M2, tenían un enfoque de práctica única de diseño y medida, centrada en algún aspecto circuital restringido en ámbito a algún tipo de subsistema. Como ejemplos podemos citar, en el caso digital, el diseño de un codificador LFSR, y en el caso analógico, la medida y caracterización de circuitos simples basados en un OTA.

Así, al implantarse el nuevo plan 94, el LCEL tiene que absorber los objetivos docentes de dos laboratorios, ya que aborda tanto circuitos digitales como analógicos, con los consiguientes problemas de planificación de prácticas.

En el caso del LSED, procedente del Laboratorio de Sistemas Digitales del plan 64-M2 (obligatorio del segundo cuatrimestre del tercer curso), la transición era más suave, pero su inconveniente fundamental era que no se hacía un énfasis específico en resaltar las diferencias con el de Electrónica Digital, en cuanto a los enfoques de diseño cableado vs. programado.

### 3. TRANSICIÓN AL PLAN 94

#### 3.1. Filosofía de trabajo en los laboratorios

Con la implantación del Plan 94, el equipo docente planteó un cambio radical en la filosofía de los laboratorios (LCEL y LSED). Desde el principio, se vió la necesidad de definir de forma rigurosa y explícita el conjunto de principios en los que se debían basar, y que dichos principios deberían atender de forma integral a todos los aspectos relacionados con el laboratorio, las prácticas y la interacción con los alumnos, profesores e instructores. Fruto de ese trabajo, se desarrollaron documentos específicos [11], de los que extraemos aquí la información fundamental, las líneas y principios generales de nuestra filosofía:

- **Visión:** Las prácticas deben ofrecer una visión de la electrónica como soporte a la ingeniería de telecomunicación en todas sus áreas de trabajo, como creemos que corresponde a su función en dicha titulación. Se fomentará la identificación, abstracción y solución de problemas con una base matemático-teórica multidisciplinar: control electrónico de procesos, tratamiento de señales, comunicaciones digitales, etc. De esta manera se buscará la integración de conocimientos de otras áreas dentro de la Ingeniería de Telecomunicación.
- **Realismo:** Las prácticas deben tener una orientación realista en la medida de lo posible y deben abordar el diseño de un sistema completo desde el punto de vista de su funcionalidad, y real desde el punto de vista de su posible implementación o incorporación a un *producto* disponible en el mercado, poniendo de relieve y justificando las simplificaciones utilizadas en su planteamiento (motivos económicos, temporales, docentes, etc.).
- **Ámbito de trabajo:** Las prácticas abiertas abordarán el análisis, diseño, implementación, medida y prueba de sistemas, tanto hardware como software; y se tratará de comprobar la capacidad del alumno para el aprendizaje continuado, orientándole hacia el trabajo individual dentro de un equipo (prácticas por parejas).
- **Perspectiva:** Los laboratorios tendrán un propósito fundamentalmente docente y mostrarán al alumno las diversas alternativas de diseño posibles, intentándose mostrar el contraste entre las alternativas ofrecidas por el LCEL y el LSED (electrónica cableada vs. programada). Para ello se trata de que la práctica de ambos laboratorios tenga una base teórico-práctica común.
  - El LCEL se centrará en el diseño de módulos hardware.

- El LSED se centrará en el diseño de módulos hardware y software.
- En ambos casos, el diseño del sistema completo se proporcionará en la especificación o enunciado de la práctica.
- **Enunciado:** La especificación del problema básico se realizará por medio de un enunciado de una longitud y nivel de detalle apropiados. Siempre que sea posible, incluirá una planificación aproximada del trabajo que han de realizar los alumnos sesión a sesión, contando con al menos una sesión inicial de toma de contacto (con los equipos y programas disponibles) y de mediciones. Si no se puede llegar al nivel de sesión, es interesante descomponer la práctica en módulos que tienen asignado un número fijo de sesiones, de modo que el alumno sea consciente de sus posibles retrasos.
- **Profesionalidad:** Se usarán métodos, herramientas y documentación actuales con carácter profesional o semiprofesional (dentro de las posibilidades presupuestarias del Departamento).
- **Iniciativa:** Se fomentará y recompensará la iniciativa del alumno por medio de una práctica básica (cuya nota máxima será inferior a 10) y una propuesta de mejoras adicionales (para alcanzar la máxima calificación), alentándose el desarrollo de prácticas especiales propuestas por el propio alumno, siempre que se ajusten al temario y los créditos de cada laboratorio.
- **Evaluación:** La evaluación considerará tanto aspectos de funcionamiento como de dominio del diseño, el montaje, las pruebas y la documentación del prototipo desarrollado, incluyendo un examen oral (como medio más adecuado para conseguir una evaluación integral). Igualmente se garantizará la homogeneidad de los criterios de calificación entre los distintos profesores, en la medida de lo posible por medio de un cuestionario estándar.

### **3.2. Características generales de los laboratorios del plan 94 (LCEL y LSED)**

Las características generales de los laboratorios están completamente descritas en el apartado 2.2 de [18], en este mismo congreso, con lo que no lo repetiremos aquí de nuevo, remitiendo al lector a dicho artículo para su consulta.

### **3.3. REQUISITOS DE IMPLEMENTACIÓN DE LA FILOSOFÍA DOCENTE EN EL LCEL Y EL LSED**

Para conseguir una implementación eficiente de la filosofía docente descrita en el apartado 3.1, era necesario cumplir tres requisitos:

1. Contar con herramientas adecuadas de gestión de los laboratorios masivos, para centrar al profesorado en aspectos puramente docentes.
2. Contar con el apoyo departamental para disponer de los recursos humanos y materiales necesarios para ofrecer una docencia de calidad.

3. Contar con un equipo docente motivado que, año a año, fuera definiendo unas prácticas y una normativa de funcionamiento acordes con la filosofía descrita más arriba.

El primero de estos requisitos ha sido objeto de planificación de trabajo desde el principio y, como fruto de ello, desde el curso 2001-2002 contamos con unas herramientas de gestión web administrativa y docente que soportan gran parte de las necesidades de nuestros laboratorios [12].

El segundo de ellos se ha traducido en un importante crecimiento de la carga docente asignada a los laboratorios por parte del Departamento, que prácticamente se ha duplicado entre los cursos 1996-1997 y 2002-2003.

El tercero de ellos también se ha conseguido gracias a la incorporación de profesorado joven y entusiasta, que ha abordado el reto de la implantación de los nuevos laboratorios con sumo interés y dedicación, y ha garantizado la continuidad a lo largo de los últimos seis años. Fruto de este trabajo, son las dos publicaciones docentes que complementan perfectamente las necesidades de formación práctica de los alumnos que se enfrentan a nuestros laboratorios [13][14].

### 3.4. Prácticas propuestas

Sin duda, la herramienta más importante para la aplicación de una filosofía de trabajo en los laboratorios es la especificación de las prácticas propuestas cada año. Así, incluimos a continuación una breve descripción de las prácticas propuestas a lo largo de los últimos seis años<sup>1</sup> [15]:

Curso	LCEL	LSED
1997-98	<p>Sistema de control de tonos:</p> <p>Ecuilizador gráfico, que operará a frecuencias de audio estableciendo tres bandas de amplificación y un control de volumen digital para cada una de ellas.</p>	<p>Generador de funciones basado en el MC68000:</p> <p>Permitía generar señales analógicas cuadradas y triangulares de frecuencia programable por el usuario, empleando interrupciones periódicas y un DAC externo.</p>
1998-99	<p>Control remoto codificado:</p> <p>Activador mediante códigos de elementos periféricos remotos (hasta un máximo de 8), basado en un bus digital serie y un sistema de transmisión analógica que modula en ASK la señal binaria.</p>	<p>Calculadora hexadecimal basada en el MC68000:</p> <p>Aceptaba operadores y operandos de un teclado matricial hexadecimal (suma, multiplicación y división) y mostraba los resultados en un conjunto de visualizadores de 7 segmentos, empleando interrupciones periódicas para refrescarlos.</p>
1999-00	<p>Sistema de cifrado y descifrado de audio:</p> <p>Prototipo que muestre la funcionalidad de un cifrador y un descifrador de audio, basados en la</p>	<p>Control de velocidad de un motor de corriente continua, en función de la temperatura ambiente:</p> <p>El sistema permitía que la velocidad de giro de un pequeño motor de continua</p>

<sup>1</sup> Cuyos documentos originales, tanto del enunciado como de las transparencias de presentación, están a disposición de los profesores interesados.

	técnica de inversión en frecuencia y añadiendo elementos de cifrado digital.	fuese proporcional a la temperatura ambiente leída por medio de un sensor de temperatura y un ADC. El control de velocidad era realimentado de tipo PI.
2000-01	<p>Sistema de control remoto de acceso codificado:</p> <p>Sistema completo de control de acceso remoto codificado, entendiéndose por remoto la no imposición de la presencia física del usuario en el entorno del centro de control, diseñando para la transmisión un esquema de codificación tonal de los dígitos de la clave usando algún tipo de modulación basada en ASK o FSK.</p>	<p>Control de acceso remoto codificado con un receptor digital basado en el MC68000:</p> <p>El sistema recibía de tonos de dos frecuencias provenientes de un emisor analógico; estas secuencias de tonos codificaban una clave que permitiría o no el acceso a un supuesto recinto. Para la detección asíncrona de los tonos se empleaba un detector de actividad por umbrales de energía y una DFT. Según la clave introducida se habilitaban dos niveles de privilegio: usuario estándar o supervisor.</p>
2001-02	<p>Sistema de difusión selectiva de mensajes con cifrado de audio y control digital:</p> <p>Sistema completo de transmisión de audio en un entorno centralizado de difusión de mensajes a distintos receptores, que incluirá mecanismos de cifrado y descifrado analógico de la señal de audio, usando inversión de frecuencia.</p>	<p>Sistema de procesamiento digital de señal controlado remotamente, basado en el MC68000:</p> <p>Este sistema de procesamiento permitía, en tiempo real, amplificar y atenuar señales analógicas, retardarlas o filtrarlas, seleccionándose la operación y los parámetros de la misma por medio de un interfaz digital serie asíncrono (control remoto).</p>
2002-03	<p>Sistema de comunicación AM con búsqueda automática de canales:</p> <p>Prototipo que muestre la funcionalidad de un sistema de transmisión que use modulación de amplitud (AM) similar a los empleados en radiodifusión comercial, en el que el receptor contará con la posibilidad de realizar una búsqueda (sintonía) manual y automática de canales activos (scanner).</p>	<p>Calculadora parlante basada en el MC68000:</p> <p>Permitía sumar y multiplicar números introducidos por medio de un teclado matricial, y pronunciarlos conforme se van tecleando por medio de voz pregrabada y un DAC externo</p>

### 3.5. Justificación de la filosofía de prácticas de diseño libre

Una discusión frecuente en el entorno académico se refiere a las ventajas e inconvenientes de las prácticas guiadas versus las de diseño libre.

En nuestra opinión, los dos laboratorios previos de electrónica [16][17], que están fundamentalmente basados en prácticas guiadas dan la suficiente formación básica para que nuestros alumnos se puedan enfrentar con éxito a su primera experiencia de diseño complejo, lo que consideramos imprescindible en ese punto de la carrera (tercer curso, el final del primer ciclo). A pesar de ello, somos conscientes de que la madurez de los alumnos en cuanto a su capacidad para diseñar es todavía limitada, por lo que el enunciado

proporciona un soporte fundamental, ofreciendo una visión arquitectural del prototipo propuesto y sugiriendo una descomposición modular de arriba abajo que facilitar su tarea. En los últimos años se incluye una sugerencia de planificación temporal en sesiones que oriente a los alumnos sobre su progreso a lo largo del curso, la cual es seguida mayoritariamente.

### 3.6. Herramientas de soporte

Para ayudar a aligerar la fuerte carga de trabajo que implica la organización administrativa de unos laboratorios como los descritos, parte del equipo docente ha desarrollado una serie de herramientas web que permiten la gestión administrativa completa (de principio a final de curso) de los laboratorios implicados (soportando un número cualquiera de ellos simultáneamente) El lector puede encontrar información adicional acerca de estas herramientas en otra ponencia de este Congreso, cuyo título es "Herramientas web de ayuda para la gestión automática de laboratorios masivos" [18].

## 4. EVALUACIÓN DE NUESTRA FILOSOFÍA DE LABORATORIOS

La mejor forma de evaluar los resultados de la filosofía de trabajo de los laboratorios descritos en esta ponencia es atender a dos aspectos:

1. Los resultados académicos de nuestros alumnos
2. Las valoraciones de nuestros alumnos sobre los laboratorios, a través de las encuestas realizadas

A continuación resumiremos los principales resultados de ambos aspectos de la evaluación, centrándonos en el caso del LCEL por brevedad, aunque los resultados son muy similares también en el LSED.

### 4.1. Resultados académicos

Aunque la interpretación de resultados académicos siempre está sujeta a discusión, hemos optado por mostrar dos indicadores relevantes: la calificación media obtenida por los alumnos en la primera convocatoria de cada año (figura 1), y el porcentaje de alumnos no presentados sobre el total de matriculados (figura 2).

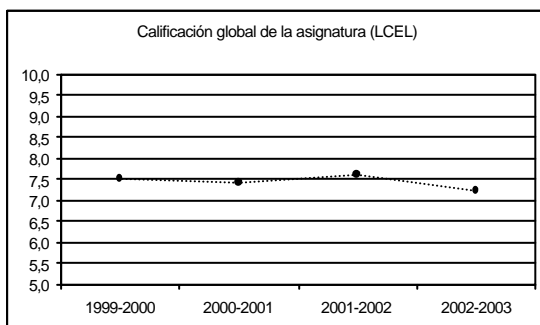


Figura 1. Calificación media LCEL

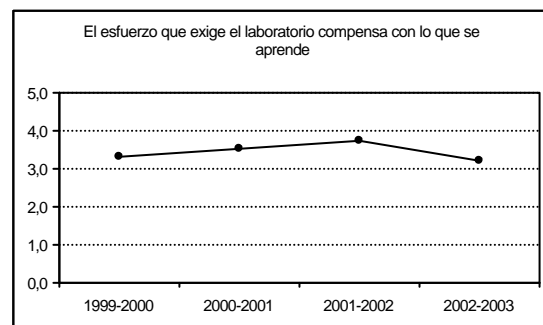


Figura 2. % Alumnos no presentados

Lo más destacable es que, a pesar de la dificultad inherente de las prácticas y el intenso trabajo que demandan, las calificaciones medias son bastante altas y el número de alumnos que, por cualquier motivo, abandonan la asignatura en su primera oportunidad de examen es sensiblemente bajo si lo comparamos con los que lo hacen en las asignaturas teóricas (que oscilan entre el 20% y el 25% en el caso de CEAN y CEDG).

## 4.2. Resultados de las encuestas

Para evaluar tanto a la asignatura como a los profesores, desde el curso 1999-2000 se realiza una encuesta a todos los alumnos presentados a examen, en la que se abordan preguntas de todo tipo.

Remitimos al lector a las encuestas disponibles en web [19] y nos centraremos aquí en tres indicadores. En la figura 3 se muestran los resultados a la pregunta “Califique a la asignatura en su conjunto, de 0 a 10”, en la que puede verse la buena aceptación de la misma<sup>2</sup> sobre todo si la comparamos con otras como por ejemplo CEDG, en la que la calificación media está alrededor de 6,8. En la figura 4 se incluyen los resultados a la pregunta “El esfuerzo que exige el laboratorio compensa con lo que se aprende”, en la que aparece la media aritmética de resultados usando la siguiente codificación: 1=*Nada de acuerdo*, 2=*Poco de acuerdo*, 3=*Medianamente de acuerdo*, 4=*Bastante de acuerdo*, 5=*Totalmente de acuerdo*. Los resultados muestran una tendencia positiva a pesar de la fuerte carga de trabajo que requiere la asignatura.

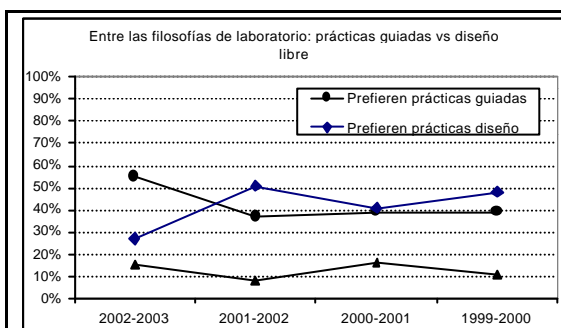


Figura 3. Encuesta alumnos: Calificación global LCEL

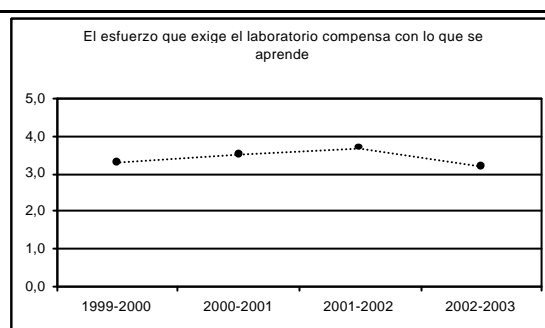


Figura 4. Encuesta alumnos: Resultados esfuerzo vs aprendizaje

Finalmente, en la figura 5 se muestran los resultados a la pregunta “Entre las filosofías de laboratorio: Prácticas guiadas vs. Práctica de diseño libre único:”, cuyas respuestas podían ser: *Prefiero el guiado, me es indiferente o prefiero el de diseño libre*. Los resultados muestran cómo, en general, los alumnos se decantan por el diseño libre frente al guiado, salvo para el último curso académico. Para explicar este hecho debemos tener en cuenta que la complejidad teórica del desarrollo matemático del diseño ha hecho más difícil el trabajo de los alumnos y que al proporcionarse una división orientativa en sesiones de trabajo, algunos alumnos han interpretado que no se trataba de un diseño totalmente libre, lo que confirma la tendencia comentada anteriormente.

<sup>2</sup> Lamentablemente en nuestra Escuela no se realizan encuestas de forma institucional, con lo que no tenemos elementos de comparación exhaustivos.



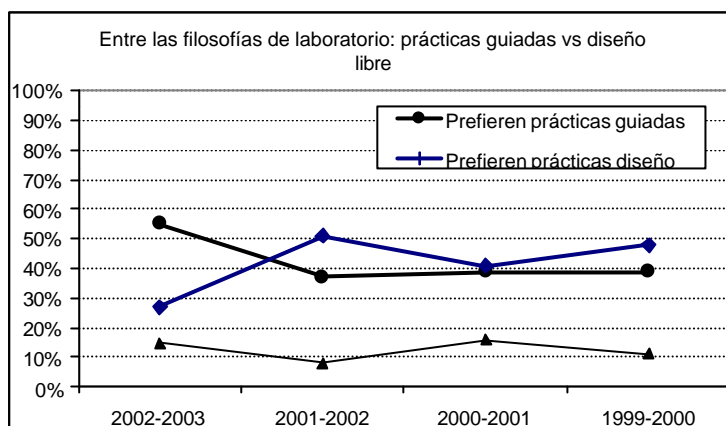


Figura 5. Preferencia en las filosofías de laboratorio: guiado vs diseño libre

Con lo visto, queda patente la buena marcha del laboratorio y la apreciación que tienen los alumnos, con lo que entendemos que la filosofía desarrollada a lo largo de los últimos años es válida, aunque aún queda trabajo por hacer en algunas direcciones, sobre todo en las referidas al ajuste de la carga de trabajo que requiere.

## 5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO

En esta ponencia hemos descrito nuestra experiencia sobre la filosofía de prácticas no guiadas en las que se intenta presentar como objetivo de trabajo un sistema razonablemente real desde el punto de vista de su posible implementación en el mundo real.

Dicha filosofía de trabajo, y en contra de lo que puede parecer en un principio, no es en absoluto rechazada por los alumnos a favor de las filosofías de prácticas guiadas, como lo demuestran las encuestas realizadas a los alumnos.

La experiencia acumulada ha mostrado tanto la validez del enfoque, como la buena aceptación del mismo por parte de los colectivos implicados, como se demuestra por los resultados de las encuestas realizadas.

En cualquier caso, y de cara al futuro, estamos diseñando una nueva orientación en la filosofía, manteniendo los postulados básicos, en la que predominando el diseño libre, se introducirán nuevos elementos guiados en las prácticas iniciales, para facilitar el proceso de aprendizaje de técnicas y destrezas básicas en unos laboratorios en los que se enfrentan con equipamiento ligeramente distinto al que han visto en los cursados en años anteriores.

El lector puede encontrar en [20] y [21] la última versión del portal de los dos laboratorios descritos en esta ponencia.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Página web del Departamento de Ingeniería Electrónica de la ETSIT de la UPM [en línea]. Mayo 2003. <<http://www.die.upm.es>> [Consulta 11 mayo 2003]
- [2] Página web de la ETSIT de la UPM [en línea]. Mayo 2003. <<http://www.etsit.upm.es>> [Consulta 11 mayo 2003]
- [3] Página web de la Universidad Politécnica de Madrid [en línea]. Mayo 2003. <<http://www.upm.es>> [Consulta 11 mayo 2003]

- [4] Información sobre el Plan 94 en la ETSIT [en línea]. Mayo 2003. <<http://www.etsit.upm.es/docencia/grado/plan1994/plan1994.html>> [Consulta 11 mayo 2003]
- [5] Programa de las Asignaturas de Tercer Curso [en línea]. ETSI Telecomunicación UPM. Plan 94. Mayo 1994. <[http://www.etsit.upm.es/docencia/grado/plan1994/asignaturas/indice\\_asig\\_3.html](http://www.etsit.upm.es/docencia/grado/plan1994/asignaturas/indice_asig_3.html)>. [Consulta: 1 abril 2003]
- [6] Laboratorio de circuitos electrónicos (LCEL-3052) [en línea]. Febrero 2003. <<http://www.etsit.upm.es/docencia/grado/plan1994/asignaturas/3052.html>> [Consulta 11 mayo 2003]
- [7] Laboratorio de sistemas electrónicos digitales (LSED-3051) [en línea]. Febrero 2003. <<http://www.etsit.upm.es/docencia/grado/plan1994/asignaturas/3051.html>> [Consulta 11 mayo 2003]
- [8] Circuitos electrónicos analógicos (CEAN-2006) [en línea]. Febrero 2003. <<http://www.etsit.upm.es/docencia/grado/plan1994/asignaturas/2006.html>> [Consulta 11 mayo 2003]
- [9] Circuitos electrónicos digitales (CEDG-2001) [en línea]. Febrero 2003. <<http://www.etsit.upm.es/docencia/grado/plan1994/asignaturas/2001.html>> [Consulta 11 mayo 2003]
- [10] Sistemas electrónicos digitales (SEDG-3005) [en línea]. Febrero 2003. <<http://www.etsit.upm.es/docencia/grado/plan1994/asignaturas/3005.html>> [Consulta 11 mayo 2003]
- [11] Principios, valores, objetivos y aspectos éticos del LCEL y el LSED [en línea]. Mayo 2003. <[http://lorien.die.upm.es/~macias/docencia/0102/lcel/public/docs/MetaLaborariosLCELLS\\_ED.pdf](http://lorien.die.upm.es/~macias/docencia/0102/lcel/public/docs/MetaLaborariosLCELLS_ED.pdf)> [Consulta 11 mayo 2003]
- [12] Macías Guarasa, J.. *Cómo llevar la gestión electrónica de un nuevo laboratorio*. Informe interno GTH-DIE 2002.
- [13] Aspectos prácticos de Diseño y Medida en Laboratorios de Electrónica. ISBN 84-7402-294-0. Servicio de Publicaciones de la ETSIT-UPM. 2001.
- [14] Notas complementarias del Laboratorio de Circuitos Electrónicos Aspectos prácticos de Diseño y Medida en Laboratorios de Electrónica. Servicio de Publicaciones de la ETSIT-UPM. 1999.
- [15] Enunciados de las práctica del LCEL y el LSED [en línea] Septiembre 2002. <<http://lorien.die.upm.es/~macias/enunciadosLabos.html>> [Consulta 11 mayo 2003]
- [16] Laboratorio de medidas eléctricas (LMEL -1050) [en línea]. Marzo 2003. <<http://www.etsit.upm.es/docencia/grado/plan1994/asignaturas/1050.html>> [Consulta 11 mayo 2003]
- [17] Laboratorio de electrónica básica y componentes (LECP-2050) [en línea]. Febrero 2003. <<http://www.etsit.upm.es/docencia/grado/plan1994/asignaturas/2050.html>> [Consulta 11 mayo 2003]
- [18] Macías Guarasa, J., Montero, J.M., Ferreiros, J., Romeral, J.D. y Córdoba, R. *Herramientas web de ayuda para la gestión automática de laboratorios masivos*. En este mismo congreso.
- [19] Encuestas sobre el LCEL y el LSED [en línea] Febrero 2003. <<http://lorien.die.upm.es/~macias/encuestasLabos.html>> [Consulta 11 mayo 2003]
- [20] Portal web del Laboratorio de Circuitos Electrónicos 2002-2003 [en línea]. Septiembre 2002. <<http://lorien.die.upm.es/lcel/>> [Consulta: 1 abril 2003]
- [21] Portal web del Laboratorio de Sistemas Electrónicos Digitales 2002-2003 [en línea]. Septiembre 2002. <<http://lorien.die.upm.es/lсед/>> [Consulta: 1 abril 2003]