

# ORGANIZACIÓN DE UNA AULA DE DISEÑO MICROELECTRÓNICO: EXPERIENCIAS CON EL ENTORNO DESIGN FRAMEWORK II

S.A.Bota, A.Herms, B.Rigau, J.R.Morante

Universitat de Barcelona  
Facultat de Física  
Departament de Física Aplicada i Electrònica.  
Avenida Diagonal 645-647. 08028 Barcelona.

Tfno: (93) 402 11 39  
Fax: (93) 402 11 48  
e-mail: sbota@iris1.fae.ub.es

## RESUMEN

*En el nuevo plan de Estudios de Ingeniería en Electrónica de la Universitat de Barcelona se incluyen dos asignaturas cuatrimestrales obligatorias de diseño microelectrónico. En este artículo se comenta la organización de estas asignaturas y se presenta la labor realizada en la puesta a punto de una aula de diseño microelectrónico VLSI, basada en el entorno Design Framework II de Cadence distribuido a través de Eurochip. Esta aula tiene por finalidad ofrecer al alumno un primer grado de experiencia en los campos del diseño full-custom y del diseño digital semi-custom.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los temas fundamentales incluidos en el nuevo plan de estudios de Ingeniería en Electrónica, que desde el curso 1992-93 se realiza conjuntamente en la Universitat de Barcelona (UB) y en la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), es el diseño de circuitos integrados VLSI. Es conocido que desde su aparición a principios de la década de los 80 [1], el diseño VLSI ha ido introduciéndose cada vez más como una materia propia en la mayoría de curriculums de Ingeniería Electrónica y de Informática. Prueba de ello es el creciente interés que están despertando acciones como *Eurochip*, encaminada a potenciar el desarrollo del diseño microelectrónico a nivel europeo.

A grandes rasgos, nuestros objetivos consisten en introducir al alumno en las diferentes metodologías del diseño microelectrónico, en el diseño y test de circuitos integrados de aplicación específica (ASIC) y en las posibilidades ofrecidas por las cada vez más imprescindibles herramientas de ayuda al diseño (herramientas CAD).

En nuestro plan de estudios, los aspectos básicos de esta materia son tratados en dos asignaturas cuatrimestrales obligatorias: *Diseño Microelectrónico I* y *Diseño Microelectrónico II* que se imparten en las dos universidades mencionadas. Estas dos asignaturas se complementan con *Sistemas Digitales*, asignatura donde se abordan algunos aspectos de diseño digital, *Análisis de Circuitos Integrados*, donde se trata en mayor detalle la problemática del diseño de circuitos integrados analógicos y, finalmente, con *Diseño y Test avanzado de CIs*, asignatura cuatrimestral optativa del plan de estudios de la UAB, que trata aspectos más avanzados sobre diseño y test de ASICs.

## 2. ORGANIZACIÓN DEL CURSO.

En nuestra universidad, la materia a impartir se reparte entre dos asignaturas cuatrimestrales obligatorias -cada cuatrimestre comprende 14 semanas lectivas- cuya estructuración se discute a continuación.

### **Diseño Microelectrónico I: Principios de Diseño VLSI**

Esta asignatura se imparte durante el primer cuatrimestre y por lo tanto la hemos enfocado como un primer curso de introducción al tema. Hay que tener presente que los estudios de Ingeniería en Electrónica se han concebido como unos estudios de segundo ciclo y por lo tanto la procedencia de los alumnos es bastante diversa, esto implica que su nivel de conocimientos previos es bastante desigual, aunque suponemos que todos ellos han recibido algún curso básico de sistemas digitales. A grandes rasgos Diseño Microelectrónico I se desarrolla de acuerdo con la siguiente estructura temática.

- Evolución histórica de los circuitos integrados. Niveles de Representación, secuencia de diseño.
- Procesos tecnológicos relacionados con la fabricación de circuitos integrados. Proceso CMOS. Tolerancias del proceso.
- Transistores nMOS y pMOS.
- El inversor MOS. Análisis eléctrico, características estáticas y dinámicas. Disipación de potencia.
- Puertas básicas CMOS a nivel transistor: puertas combinatoriales básicas, elementos de memoria, registros y circuitos secuenciales. Parámetros específicos.
- Estrategias de diseño a nivel de *layout*. Herramientas de diseño CAD.
- Estructuras lógicas alternativas. Lógicas CMOS dinámicas. Lógica pseudo-nMOS.
- Arrays: ROM, RAM, PLA.
- Subsistemas i elementos específicos. Modularidad y simetría.

Como puede observarse en el temario de la asignatura, el curso está centrado en los aspectos básicos del diseño a nivel físico.

## Diseño Microelectrónico II: Diseño Digital Semi-Custom

La segunda asignatura -correspondiente al segundo cuatrimestre- trata aspectos de diseño digital *semi-custom* y Test de circuitos integrados. Está estructurado de acuerdo con el temario siguiente:

- Introducción al diseño de ASICs.
- Herramientas de diseño asistido.
- Metodologías de diseño.
- Bibliotecas de celdas.
- Introducción al Test de ASICs.
- Técnicas de diseño para Testabilidad.

Finalmente, aquellos alumnos que estén interesados en profundizar en aspectos más concretos y abordar un mayor nivel de complejidad, pueden seguir una asignatura optativa: *Diseño y Test Avanzado de Circuitos Integrados*, que actualmente se imparte en la Universitat Autònoma de Barcelona.

### 3. MÉTODO DIDÁCTICO

Hoy en día es incuestionable que para una completa formación del alumno, las asignaturas de diseño VLSI deben impartirse mediante clases teóricas (en las que se desarrolla el temario expuesto en el punto anterior), clases de problemas y sesiones prácticas. Las clases teóricas, junto con la bibliografía recomendada proporcionan la base de conocimiento necesario para llegar a comprender cuales son los aspectos que guían las diferentes etapas del diseño. No obstante una gran parte de los aspectos involucrados en un proceso de diseño, solamente pueden adquirirse mediante la realización de proyectos prácticos. Por ejemplo, resulta difícil explicar a nivel teórico como trabajar con una herramienta industrial de ayuda al diseño o como los requerimientos de una tecnología concreta pueden afectar las especificaciones de un proyecto determinado. Además el proponer proyectos prácticos que puedan culminar con la fabricación de un prototipo, constituye un fuerte aliciente con el que incentivar el trabajo de los alumnos [2].

Bajo nuestro punto de vista, la elección de un conjunto adecuado de prácticas es importante. Los objetivos a cubrir con las prácticas son los siguientes:

- Dar un conocimiento, lo más profundo posible, sobre las diversas metodologías de diseño.
- Aumentar el nivel de conocimiento sobre el proceso de fabricación.
- Inculcar la importancia que representa la organización de un proyecto, su control y su documentación.
- Estimular el trabajo en equipo.
- Familiarización con las herramientas de diseño.

Una vez establecido el temario, el punto siguiente consiste en confeccionar unas prácticas adecuadas. Frente a la posibilidad de realizar un conjunto de prácticas, independientes entre sí, que vayan cubriendo las diferentes etapas del temario, en nuestro caso es habitual plantear

las sesiones prácticas como auténticos proyectos de diseño. Estos proyectos deben presentar un grado de dificultad adaptado a las circunstancias [3], hay que tener presente que las prácticas corresponden a cursos introductorios, y que el planteamiento de proyectos demasiado complicados puede traducirse en la desmotivación y la pérdida de interés del alumno.

Bajo este punto de vista, para la asignatura de *Diseño Microelectrónico I*, se propone que el alumno diseñe y caracterice una puerta lógica CMOS básica y un elemento de memoria CMOS. Durante la realización del proyecto se desarrollan los siguientes aspectos: Especificación, Diseño estructural a nivel de transistor, simulación eléctrica, Diseño físico, verificación, simulación *post-layout*. El conjunto mínimo de herramientas de software necesarias para desarrollar estas prácticas comprende editores de esquemáticos, simuladores eléctricos, editor de layout, editor de *layout* simbólico, DRC (*Design Rule Checker*), extractor, LVS (*Layout Versus Schematic*).

En la asignatura de *Diseño Microelectrónico II*, se propone al alumno que diseñe un circuito digital de complejidad media, siguiendo una estrategia de implementación *bottom-up* y basándose en una metodología de diseño tipo *Standard Cell*. La práctica se estructura también en forma de proyecto. Las etapas que comprende son: Especificación, entrada de esquemáticos, simulación lógica, simulación de faltas, *Place & Route*, y simulación *post-layout*. A diferencia de las prácticas de *Diseño Microelectrónico I*, se propone el mismo proyecto a todos los alumnos, aunque se les incentiva para que se decidan entre posibles soluciones alternativas.

#### 4. NECESIDADES BÁSICAS

Una vez establecido el temario de las asignaturas y programadas las actividades prácticas de los dos cursos, quedan por definir los recursos necesarios para la realización de estas sesiones prácticas, recursos que pueden plantearse a nivel de recursos materiales disponibles, tiempo disponible y personal para la dirección de las prácticas.

Inicialmente, nuestro departamento no disponía de los recursos materiales necesarios para poder acometer la realización de las prácticas propuestas en el punto anterior. Por lo tanto una de nuestras primeras tareas consistió en evaluar nuestras necesidades, y encontrar la solución más adecuada para llevar adelante nuestro programa. Recordemos que nuestras especificaciones iniciales eran:

- Poder impartir las prácticas de *Diseño Microelectrónico I* a un grupo de 40 alumnos.
- Poder impartir las prácticas de *Diseño Microelectrónico II* a un grupo de 40 alumnos.
- Disponer de un cierto grado de flexibilidad para poder atacar en el futuro proyectos de mayor complejidad.

Básicamente esto se traduce en a) disponer de un conjunto de herramientas de CAD que permitan abordar los diferentes aspectos considerados. b) Disponer del *hardware* necesario para ejecutar el *software* elegido. c) Contemplar la posibilidad de fabricar algunos de los diseños realizados. En nuestro caso carecíamos casi por completo de equipos de *hardware* y

de herramientas de diseño, el lado positivo de esta falta de medios inicial es que nos ha permitido elegir el conjunto de herramientas de CAD únicamente en función de las prácticas a implementar y a continuación hemos escogido el *hardware* más adecuado para el tipo de *software* elegido. El aspecto referente a la posible fabricación de alguno de los prototipos quedó solucionado con el ingreso en *Eurochip*.

### Elección del software

Para la realización de un proyecto de diseño determinado, puede hacerse necesario utilizar una gran variedad de herramientas CAD. Con el fin de obtener este conjunto de herramientas hemos considerado las siguientes posibilidades. a) Utilización de programas desarrollados por diversas universidades que pueden obtenerse gratuitamente (o a muy bajo coste), por ejemplo *Alliance*, *Magic*, *Ocean* etc [4]. b) Utilización de herramientas desarrolladas para una metodología concreta o para una etapa específica del proceso de diseño. Estas herramientas tienen un coste medio y constituyen una buena opción para cubrir algunos aspectos de las asignaturas. En este grupo incluiríamos programas tales como simuladores eléctricos y mixtos, entornos de diseño de FPGA's, herramientas de síntesis etc. c) Entornos integrados de diseño industrial, destinados a cubrir todos los aspectos de diseño.

En nuestro caso, necesitábamos poder trabajar a nivel *full-custom*, también necesitábamos trabajar a nivel *semi-custom* y queríamos mantener abierta la posibilidad de trabajar con otras herramientas en un futuro no muy lejano. Además tampoco queríamos estar ligados a una tecnología *Standard-Cell* concreta, por lo que la opción elegida nos debía permitir la posibilidad de poder cambiar de tecnología o de metodología de diseño. Teniendo presente estos factores, y su grado de implementación a nivel universitario, nos decidimos finalmente por el entorno *Design Framework II*, de *Cadence*.

El principal inconveniente de la opción del entorno de diseño industrial radica en su elevado coste aunque, afortunadamente, este inconveniente es superable para aquellas instituciones académicas asociadas a *Eurochip*. También es cierto que las posibilidades que ofrecen estos grandes entornos integrados son muy amplias y sobrepasan con creces las necesidades que imponen las prácticas de estas asignaturas introductorias, no obstante, permiten un mejor aprovechamiento del tiempo disponible para la realización de las prácticas ya que el alumno únicamente tiene que aprender las particularidades de un único programa de diseño, y no tiene que preocuparse por problemas de compatibilidad entre diferentes programas. Una ventaja adicional importante consiste en que el mismo entorno puede utilizarse más adelante en otras asignaturas; el entorno utilizado para realizar las prácticas de *Diseño Microelectrónico I*, se utiliza más adelante en *Diseño Microelectrónico II*, en *Análisis de Circuitos Integrados* y en *Diseño y Test avanzado de ASIC's*. Este hecho repercute en un gran ahorro de tiempo y dinero.

### Elección del hardware

Las herramientas de CAD industriales requieren de estaciones de trabajo con un nivel mínimo de prestaciones. Recordando que hay 40 alumnos por asignatura, y que pueden repartirse en tres grupos de prácticas. Si formamos grupos de trabajo de tres personas, necesitamos una aula con cinco puestos de trabajo como mínimo.

Las características del aula son:

- 1 estación *Sun Sparc10*.
- 4 estaciones *Sun IPC*.
- 1 disco de 2 Gb.
- 1 Impresora láser.

La configuración final de los cinco puestos de trabajo se decidió en gran medida en función de las necesidades del entorno *Design Framework II*, estas necesidades básicamente se centran en la utilización del sistema operativo *Solaris 1.1*, en la utilización del entorno Openwin, disponer de un disco duro con 450 Mb libres para alojar el *software* y un mínimo de 100 Mb de *swap* para cada sesión abierta, también es aconsejable que cada estación disponga de un mínimo de 32 Mb de memoria RAM. Para que el *software* sea accesible a todas las máquinas, estas estarán interconectadas mediante NFS [5].

En la configuración elegida las cuatro estaciones *IPC* están configuradas como estaciones *dataless* (carecen de sistema operativo en su disco de arranque) de esta manera se puede utilizar la práctica totalidad del disco interno de cada estación para tareas de *swap*. Las cuatro estaciones *IPC* conforman una sub-red local aislada, servida por la estación *Sparc10*, la conexión con el exterior se realiza a través de la *Sparc10*, de esta manera nuestro entorno de trabajo queda prácticamente inmunizado de cualquier problema que pueda originarse en nuestra red local universitaria.

A pesar de haber configurado la estación explícitamente para el entorno *Design Framework II*, hasta el momento hemos podido utilizar sin ningún problema, otros programas como por ejemplo *Hspice*, *Silvaco* o *Microwave-Design System*, de tal forma que el aula que hemos configurado para impartir las prácticas de diseño microelectrónico, se está utilizando -y amortizando- en prácticas concretas de otras asignaturas del plan de estudios como *Alta frecuencia (Microwave Design System)*, *Análisis de circuitos integrados (Artist y Hspice)*, y *Dispositivos avanzados (Silvaco)*.

## 5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

*Design Framework II* se ha utilizado por primera vez durante el presente curso para impartir las prácticas de la asignatura de *Diseño Microelectrónico I*. El contenido de las prácticas ha consistido en el diseño *full-custom* de una celda CMOS. Para ello los alumnos han dispuesto de 12 sesiones de 2 horas y media, supervisadas por un monitor.

En general creemos que la experiencia ha resultado positiva pues la mayoría de grupos de trabajo han completado el proyecto propuesto, además, el hecho de que ellos mismos hayan tenido que pasar por las diferentes etapas de diseño propuestas, les ha sido de gran utilidad para una mejor asimilación de la materia introducida en las clases de teoría.

Al tratarse de un curso de introducción, creemos que el principal inconveniente con que nos hemos encontrado ha sido precisamente el amplio espectro de posibilidades que ofrece el entorno *Design Framework II*, en concreto el entorno incorpora 27 herramientas de *Cadence*

*Artist*, 29 herramientas de *Cadence Edge 4.2* y 5 herramientas de *Cadence Veritools*, acompañadas de unos manuales que reúnen más de 15.000 páginas de información. Por lo tanto queda claro que en este caso los manuales no pueden contemplarse como el principal punto de referencia del alumno.

Para que el alumno consiga acabar su proyecto es necesario que el profesor haya planeado con antelación el trabajo que deberá realizar el alumno. Es necesario por parte del profesor un trabajo previo de selección de las herramientas específicas a utilizar, de selección de la tecnología y la confección de una pequeña guía que sirva como principal punto de referencia del alumno.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la ayuda y el apoyo ofrecido desinteresadamente por L. Terés y J. Carrabina, miembros de UAB-CNM y también por el soporte técnico prestado por X. Fortmatjé del CNM de Barcelona.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

[1] C.A. Mead, L.A. Conway. "Introduction to VLSI systems". Boston, MA: Addison Wesley. 1980.

[2] G. Puvvada. "Teaching Computer hardware Design Usig Commercial CAD Tools". IEEE Transactions on education. Vol. 36. nº 1, pp 158-162, Febrero 1993.

[3] R.C.S. Morling, V.A. Barlett, I.Kale, C.R. Turner. "Teaching VLSI Design Management". Proc. Fourth EUROCHIP workshop on VLSI Design Training, pp 98-103, Toledo, España, Septiembre 1993.

[4] D. Protheroe. "VLSI CAD Tools for Distance learning". Proc. Fourth EUROCHIP workshop on VLSI Design Training, pp 80-85, Toledo, España, Septiembre 1993.

[5] Design Framework II, *Cadence*. "System Administration". 1993.