

# EXPERIENCIAS DIDÁCTICAS EN EL ÁMBITO DEL DISEÑO DE CIRCUITOS INTEGRADOS ANALÓGICOS ORIENTADAS A LA ADAPTACIÓN AL NUEVO ESPACIO EUROPEO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

J.COLOMER, P.MIRIBEL, J.MERINO, J.MAÑA, J.SAMITIER

*Departamento de Electrónica. Facultad de Física. Universidad de Barcelona. ESPAÑA.*

*En el marco del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), y las necesidades que se originan a nivel de la evaluación continuada derivada de la propia concepción del crédito ECTS, se presenta la planificación de dos asignaturas relacionadas con el Diseño Microelectrónico, del actual plan de estudios de Ingeniería en Electrónica en la Universidad de Barcelona.*

## 1. Introducción

En los últimos años la formación del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), y la concepción de los créditos ECTS, está motivando cambios en las metodologías de la enseñanza en las Universidades de nuestro país, y una adecuación de nuestros recursos [1].

Recientemente la Universidad de Barcelona, en Junta de Gobierno, ha determinado la obligación de implementar la evaluación continuada en sus enseñanzas. El crédito ECTS es un cambio radical respecto a la concepción tradicional del crédito en los planes de estudio. El crédito ECTS es una medida del trabajo del alumno dentro y fuera del aula, en todas sus facetas. Esta filosofía implica esta concepción del proceso de evaluación.

En el ámbito de las Ingenierías, en particular en la de la Ingeniería en Electrónica de la UB, este trabajo se focaliza en dos asignaturas asociadas al Diseño Microelectrónico en el Plan de Estudios de la Ingeniería en Electrónica. Por un lado en la asignatura de Diseño Analógico, de carácter obligatorio, y Diseño Mixto Analógico-Digital, de carácter optativo.

En el presente trabajo se muestra cómo se han orientado estas asignaturas. Los mecanismos que se siguen en la evaluación del alumnado, en función de las diferentes actividades que se desarrollan durante el curso, también son descritos en este artículo. En particular, uno de los problemas clásicos en la enseñanza es disminuir la brecha existente entre la teoría y la práctica. El papel puramente receptor del alumno al discurso del profesor en una clase de carácter magistral. Esta brecha se quiere minimizar y una opción es la de reafirmar conceptos mediante la simulación eléctrica de los circuitos.

Dada esta necesidad, uno de los aspectos en los que se ha trabajado es en la evaluación de herramientas de software libre para la simulación eléctrica de circuitos. Los principales programas con los que se ha trabajado son las versiones libres de TopSpice, WinSpice, Pspice Student Version, y finalmente la herramienta de Linear technology, LTSPICE[2], que ha sido la seleccionada, por su simplicidad y entorno.

En cursos pasados se trabajaba de forma muy orientada en la propia aula, mediante la herramienta de diseño profesional, CADENCE[3]. En la actualidad se quiere activar otro enfoque: los estudiantes deben desarrollar actividades fuera del propio ámbito del laboratorio presencial. De esta forma se persigue que puedan trabajar de forma autónoma desde sus casas para reafirmar conceptos.

## 2. Metodología empleada

En el presente apartado se presenta la metodología que se está implementando y desarrollando en las asignaturas troncal y optativa de diseño analógico y mixto. Mientras que en la asignatura troncal se utilizan las herramientas de simulación eléctrica para fijar conceptos y actuar como mecanismo previo a la actividad en el aula multimedia, en la de carácter optativo la propia herramienta es utilizada para desarrollo de actividades programadas más complejas, orientadas todas ellas a una evaluación continuada.

### 2.1. Diseño Microelectrónico Analógico

Esta asignatura es troncal en el plan de estudios indicado anteriormente, con una carga de 5 créditos ECTS. Tiene dos clases de teoría a la semana, y una única sesión de dos horas a la semana en el laboratorio multimedia. Dado su carácter troncal, en esta asignatura las actividades que los alumnos deben desarrollar fuera propiamente del aula están orientadas al estudio y resolución de problemas, algunos de ellos mediante simulación eléctrica. Estos ejercicios se condicionan como fases previas a las experiencias en el laboratorio, en las que se combinan ejercicios a desarrollar mediante CADENCE, en grupos clásicos o de forma cooperativa, resolviendo problemas tipo puzzle [4].

En anteriores experiencias, el alumno al enfrentarse al trabajo propiamente de laboratorio se le unían dos dificultades: a) la del manejo del entorno de simulación, y b) con el desarrollo de la experiencia. El objetivo actual es minimizar la brecha que pueda existir entre la clase teórica y la experiencia en el laboratorio. Gracias a las simulaciones previas, que se conciben como pequeños problemas a resolver, de algunos temas de teoría, el alumno tiene estos conceptos de teoría más trabajados y el posterior desarrollo en el laboratorio es más simple. Es decir, tienen más claro lo que se les está preguntando.

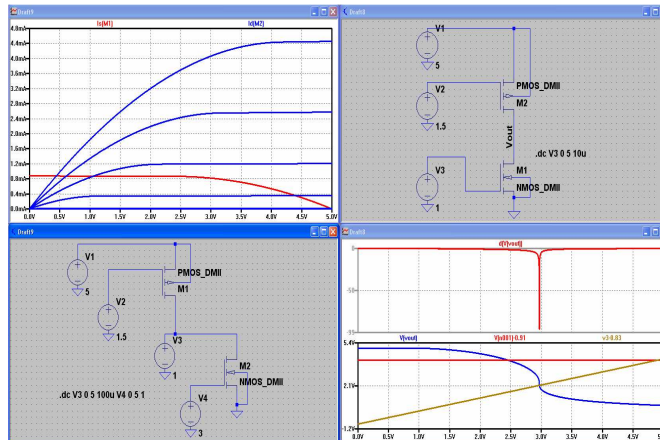
El alumno es requerido a realizar los trabajos de simulación eléctrica antes del desarrollo de las actividades en el laboratorio de diseño, y se debe de entregar un pequeño informe antes de la propia experiencia con CADENCE. Estas actividades son utilizadas para la evaluación continuada.

Estas simulaciones están básicamente orientadas a los siguientes aspectos del temario:

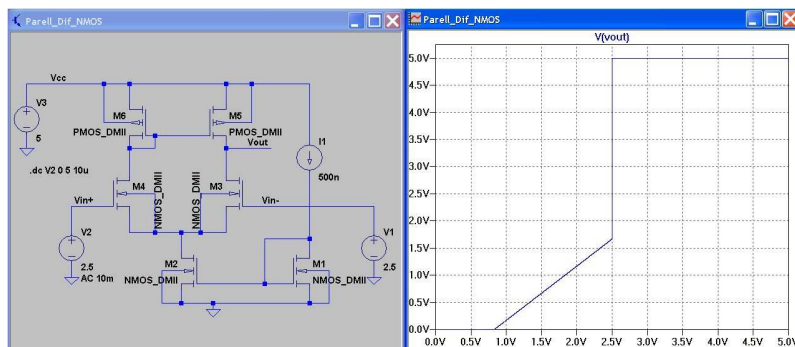
- Fuente de corriente básica.
- Amplificadores básicos: Amplificador fuente común, drenador común y puerta común.
- Amplificador cascado.
- Amplificador diferencial simple.

A modo de ejemplo se presenta el caso del amplificador básico de fuente común. El alumno en base a un modelo básico realiza el problema mediante LTSPICE. Este debe de encontrar las rectas de carga y de sus intersecciones la curva de transferencia, entre tensión de salida ( $V_{out}$ ) y tensión de entrada ( $V_{in}$ ), que comparan con la simulada, así como encontrar las regiones de funcionamiento en el régimen de saturación de los transistores. En el laboratorio realizan la misma actividad pero en el entorno de CADENCE, en el cuál deben de ser capaces de trabajar con la calculadora del simulador, así como realizar posteriormente el cálculo de los parámetros en pequeña señal (Análisis OP), para comparar los valores simulados de la ganancia y la resistencia de salida con los calculados teóricamente.

En la Fig.1 se presenta, a modo de ejemplo, el ejercicio sobre la etapa de fuente común, planteado en LTSPICE, en las que deben de encontrar las rectas de carga, las regiones de trabajo de los transistores, y la curva de la ganancia.



**Figura 1.**Ejemplo actividad en LTSPICE.



**Figura 2.**Ejemplo actividad par diferencial NMOS en LTSPICE.

Las actividades no presenciales basadas en LTSPICE son de soporte a las propias a desarrollar de forma presencial, mediante CADENCE, que en el caso de la troncal son:

- Espejos de Corriente.
- Amplificadores básicos: Fuente común (diferentes tipos de carga), y amplificador cascado.
- Amplificador diferencial básico. Fig.2.
- Amplificador diferencias de dos etapas.

## 2.2. Diseño Mixto Analógico Digital.

Esta asignatura es optativa en el plan de estudios y tiene un peso de 3 créditos ECTS, y permite desarrollar otro tipo de actividades mediante las cuales, entre ellas, se incentivan competencias en los alumnos en el proceso de aprendizaje que en la materia troncal no es posible desarrollar. Si en la anterior los objetivos generales que se quieren potenciar són la capacidad de realizar de forma correcta los informes, y su capacidad de presentar de forma correcta los problemas (planteamiento y resolución), así como el trabajo en equipo y la interdependencia positiva, en esta asignatura se fijan el desarrollo de otras capacidades como las de síntesis de información, capacidad crítica y autocrítica, expresión oral en público, iniciativa, etc.

Las actividades a desarrollar de forma no presencial por parte de los estudiantes, y que durante estos últimos años se han ido modulando en función del tiempo que han necesitado los alumnos en desarrollarlas, se basan en simulación eléctrica, lectura de materiales, artículos de revista, y de las propias sesiones presenciales, y son:

- Caracterización de un amplificador *Folded Cascado*, en la que se les pide realizar un informe tipo dataste, en base a las simulaciones de caracterización que desarrollen.
- Simulación de una fuente de corriente y circuitos de *BIAS*.
- Estudio y caracterización de un amplificador *Telescopio*.
- Estudio y caracterización de un amplificador *Gain Boosted*.
- Estudio de comparadores.
- Ejercicios sobre aplicaciones de OTAs.
- Amplificadores *Low-Voltage Low Power* y etapas *Rail-To-Rail (R2R)*.
- Presentación, por parte del alumnado, de una de las etapas R2R asignadas.
- Lectura sobre arquitecturas *Sample-and-Hold*.
- Ejercicios sobre Capacidades Conmutadas.

A modo de ejemplo, en la Fig.3, se presenta un ejemplo de la transparencia de un grupo de alumnos al presentar una etapa *Rail-to-Rail (R2R)*, en clase. En relación a este punto la actividad se plantea de forma que todos los grupos deben de trabajar sobre un material docente en el que se desarrolla una parte común sobre estas etapas, su interés, problemática, etc, para luego asignar un tipo de etapa a cada grupo (máximo de dos personas), que deberán presentarlo en clase, en exposiciones que tienen una duración máxima de 12 minutos. En estas exposiciones se recrea la situación de un *Workshop*. De las presentaciones se derivan preguntas a los exponentes así como al resto de estudiantes. Esta actividad es ideal como antesala a la presentación del Proyecto Final de Carrera.

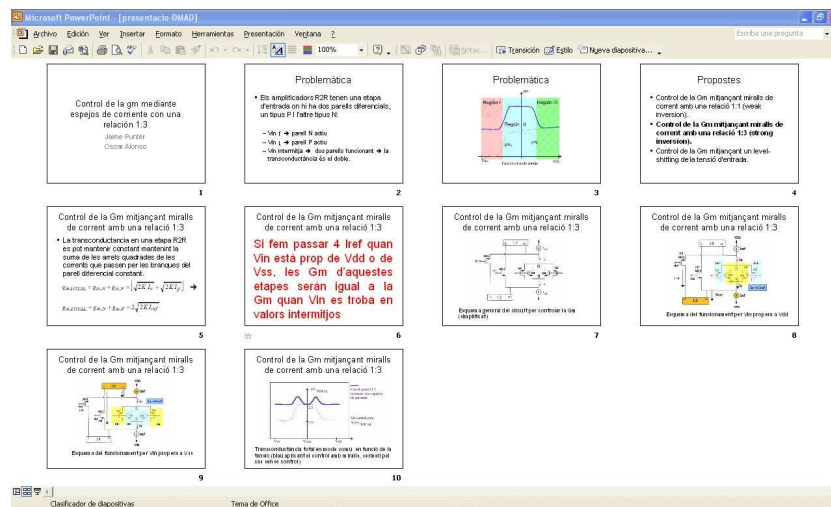


Figura 3. Ejemplo presentación de los alumnos.

Otras actividades se desarrollan en la misma aula multimedia, como són:

- Estudio de un Amplificador Telescopico
- El estudio de un amplificador clase AB integrado: desde esquema eléctrico, *extracted view*, análisis sobre la realización del layout.
- Realización de un OTA degenerado para su aplicación en filtros Gm-C para bajas frecuencias, Fig.4, mediante LTSPICE, y su estudio mediante CADENCE en el diseño de un Filtro de segundo orden, Fig.5.
- Circuitos *Sample-and-Hold*, *Open* y *Close-Loop*.
- Introducción A/D Flash

Los alumnos desarrollan las actividades en el aula y de ellas se derivan cuestionarios o pequeños informes para su evaluación.

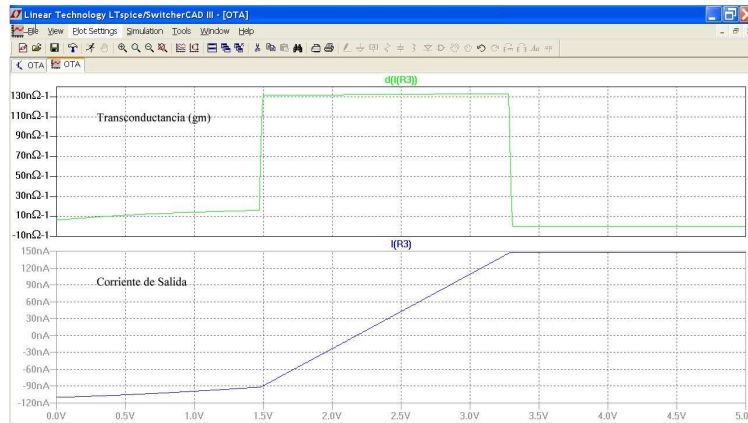


Figura 4. Ejemplo de la actividad sobre OTAs degenerados..

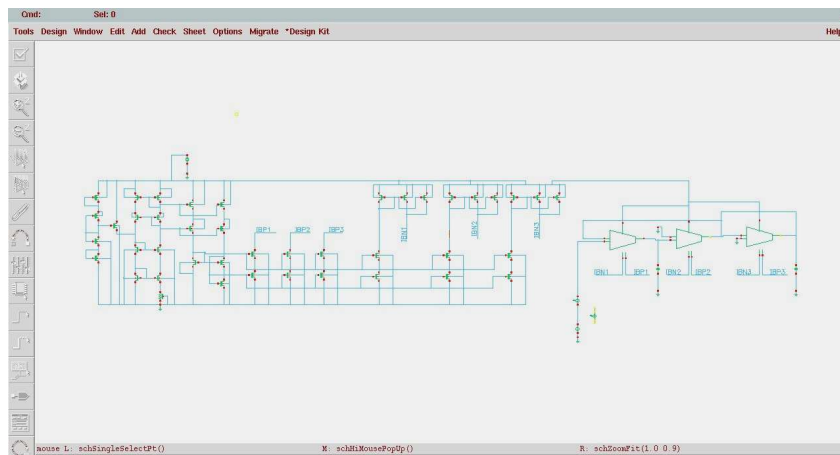


Figura 5. Ejemplo de la actividad sobre OTAs degenerados y filtro de segundo orden Gm-C.

### 3. Conclusiones

La implementación del crédito ECTS y la evaluación continuada está llevando al profesorado a modificar los planteamientos de las asignaturas y las metodologías a seguir. Se han presentado los casos particulares de dos asignaturas de Diseño Microelectrónico del Plan de Estudios de Ingeniería en Electrónica, una de ellas troncal y otra de carácter optativo, describiendo la metodología planteada en cada caso. En la materia troncal las actividades no presenciales mediante simulación eléctrica son un buen recurso para afianzar la teoría y preparar las sesiones de prácticas en el laboratorio con la herramienta profesional de diseño, mientras que en la optativa les permite realizar estudios de circuitos más complejos, en cada tema, durante el curso.

La futura utilización de recursos de gestión como MOODLE permitirá gestionar eficientemente la evaluación de los alumnos así como generar otros tipos de actividades *on-line*.

La utilización de las herramientas de simulación libre pueden ser una buena opción también para otras asignaturas como la Instrumentación Electrónica, la Electrónica de Potencia, etc, en las que se quieran plantear problemas o planificar los cursos en base a PBL's.

## Referencias

- [1] A.Diéguez, A. Herms. *Diseño de una aula multimedia para la enseñanza teórico/práctica de diseño VLSI. Resúmenes de los Trabajos del VI Congreso TAEE*. Editorial del VI Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, Valencia (2004)
- [2] <http://www.linear.com/designtools/software/>
- [3] [www.cadence.com](http://www.cadence.com)
- [4] P.Miribel et. al..*Experiencias de Enseñanza Activa y Cooperativa Integradas en una Aula Multimedia Diseñada para Asignaturas de Diseño microelectrónica. Resúmenes de los Trabajos del VII Congreso TAEE*. Editorial del VII Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, Madrid (2006)