

## FICHA TÉCNICA DE LA ASIGNATURA

<b>Datos de la asignatura</b>	
<b>Nombre</b>	Diseño de Circuitos Integrados
<b>Código</b>	DEA-TEL-523
<b>Titulación</b>	Master Universitario en Ingeniería de Telecomunicación
<b>Curso</b>	1º
<b>Cuatrimestre</b>	2º
<b>Créditos ECTS</b>	3 ECTS
<b>Carácter</b>	Obligatoria
<b>Departamento</b>	Electrónica, Automática y Comunicaciones
<b>Área</b>	Telecomunicaciones
<b>Universidad</b>	Universidad Pontificia Comillas
<b>Profesores</b>	Ignacio Herrera Alzu

<b>Datos del profesorado</b>	
<b>Profesor</b>	
<b>Nombre</b>	Ignacio Herrera Alzu
<b>Departamento</b>	Electrónica, Automática y Comunicaciones
<b>Área</b>	Telecomunicaciones
<b>Despacho</b>	
<b>e-mail</b>	iherrera@comillas.edu
<b>Horario de Tutorías</b>	

## DATOS ESPECÍFICOS DE LA ASIGNATURA

### Contextualización de la asignatura

#### Aportación al perfil profesional de la titulación

En el perfil profesional del Master en Ingeniería de Telecomunicación, esta asignatura pretende aportar al alumno una visión amplia sobre el proceso de diseño y fabricación de circuitos integrados, desde el diseño full-custom al diseño específico ASIC en tecnología CMOS. Se hace énfasis tanto en el diseño digital como en el analógico o full-custom. Se introducen los flujos de diseño y herramientas tales como lenguajes de descripción hardware, herramientas de síntesis, herramientas de diseño VLSI y diseño para test.

Al finalizar el curso el alumno ha de ser capaz de:

- Conocer y comprender los aspectos tecnológicos actuales para la realización de circuitos electrónicos integrados.
- Conocer la disponibilidad de diferentes componentes de un circuito en diferentes tecnologías. Comprender su comportamiento y modelado.
- Conocer y aplicar los circuitos básicos capaces de procesar señales analógicas y/o digitales con lenguajes de descripción de hardware.
- Comprender concepto flujo y estructuración de diseño jerárquico de circuitos integrados de complejidad sencilla y media, así como las herramientas de diseño.

#### Prerrequisitos

Conocimientos básicos de Electrónica Digital y Analógica.

### Competencias – Objetivos

#### Competencias Generales

CG4. Capacidad para el modelado matemático, cálculo y simulación en centros tecnológicos y de ingeniería de empresa, particularmente en tareas de investigación, desarrollo e innovación en todos los ámbitos relacionados con la Ingeniería de Telecomunicación y campos multidisciplinares afines.

CG6. Capacidad para la dirección general, dirección técnica y dirección de proyectos de investigación, desarrollo e innovación, en empresas y centros tecnológicos.

CG8. Capacidad para la aplicación de los conocimientos adquiridos y resolver problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios y multidisciplinares, siendo capaces de integrar conocimientos.

CG13. Conocimiento, comprensión y capacidad para aplicar la legislación necesaria en el ejercicio de la profesión de Ingeniero de Telecomunicación.

#### Competencias Básicas

CB1. Haber adquirido conocimientos avanzados y demostrado, en un contexto de investigación científica y tecnológica o altamente especializado, una comprensión detallada y fundamentada de los aspectos teóricos y prácticos y de la metodología de trabajo en uno o más campos de estudio.

CB2. Saber aplicar e integrar sus conocimientos, la comprensión de estos, su fundamentación científica y sus capacidades de resolución de problemas en entornos nuevos y definidos de forma imprecisa, incluyendo contextos de carácter multidisciplinar tanto investigadores como profesionales altamente especializados.

CB6. Haber desarrollado la autonomía suficiente para participar en proyectos de investigación y colaboraciones científicas o tecnológicas dentro su ámbito temático, en contextos interdisciplinarios y, en su caso, con una alta componente de transferencia del conocimiento.

**Competencias Específicas**

CTT10. Capacidad para diseñar y fabricar circuitos integrados.

CTT11. Conocimiento de los lenguajes de descripción hardware para circuitos de alta complejidad.

## Competencias Específicas y Resultados de Aprendizaje<sup>1</sup>

- RA1. Conocer las bases teóricas del diseño de circuitos integrados, tanto analógicos como digitales.
- RA2. Conocer el proceso de diseño de circuitos integrados, así como el proceso de fabricación de los mismos.
- RA3. Comprender e integrar las tecnologías de diseño, simulación, implantación y verificación de los sistemas digitales integrados a medida y de los sistemas programables, a partir de lenguajes de descripción de hardware.
- RA4. Analizar, comprender y diseñar métodos de validación, así como el desarrollo de bancos de prueba para sistemas integrados.
- RA5. Diseñar de forma fluida circuitos digitales, así como analógicos avanzados y conocer las arquitecturas de sistemas integrados.
- RA6. Diseñar de forma fluida circuitos digitales avanzados con lenguajes de descripción de hardware HDL y conocer las arquitecturas programables FPGAs y herramientas para el diseño de las mismas.
- RA7. Abordar problemas nuevos, elaborar la planificación, y elegir el método de diseño para el desarrollo de sistemas integrados de comunicaciones complejos.
- RA8. Buscar, seleccionar, comprender y analizar información útil para el desarrollo de un proyecto usando fuentes bibliográficas, Internet, etc.
- RA9. Trabajar en grupo, entender cómo se coordina un grupo de trabajo con diseñadores de sistemas integrados, así como la planificación de tareas.

---

<sup>1</sup> Los resultados de aprendizaje son indicadores de las competencias que nos permiten evaluar el grado de dominio que poseen los alumnos. Las competencias suelen ser más generales y abstractas. Los R.A. son indicadores observables de la competencia

## BLOQUES TEMÁTICOS Y CONTENIDOS

### Contenidos – Bloques Temáticos

#### BLOQUE 1: Teoría

Las líneas básicas contenidas en el programa se articulan alrededor de los conceptos de tecnologías integradas avanzadas con énfasis en las comunicaciones digitales.

#### Tema 1: Introducción al diseño de circuitos integrados.

- 1.1- Evolución histórica, conceptos y terminología.
- 1.2- Introducción a las diferentes tecnologías de circuitos integrados: CMOS, Bipolar, etc
- 1.3- Descripción del proceso de fabricación de CIs
- 1.4- Complejidad de CIs su importancia y límites físicos de la tecnología.
- 1.5- La Microelectrónica y VLSI en la actualidad. SoC. SoP.

#### Tema 2: Proceso de tape-out, fabricación, empaquetado, test, validación y cualificación

- 2.1- Deliverables en el proceso de tape-out
- 2.2- Empaquetado. Cortado de oblea, Pegado del dado. Bonding. Restricciones.
- 2.3- Test. Tipos de test. Test en oblea. Test en empaquetado.
- 2.4- Validación y cualificación. PVT. HTOL.

#### Tema 3: Flujo de diseño de circuitos integrados digitales

- 3.1- Diseño de especificaciones, y RTL. Simulaciones.
- 3.2- Síntesis y STA
- 3.3- Place and route
- 3.4- Power grid, clock tree, finishing
- 3.5- DRC y LVS
- 3.6- Power simulations

#### Tema 4: Flujo de diseño de circuitos integrados analógicos

- 4.1- Diseño de especificaciones
- 4.2- Esquemático y simulaciones
- 4.3- Layout
- 4.4- Extracción de elementos parásitos y simulaciones
- 4.5- DRC y LVS

#### Tema 5: Economía del circuito integrado

- 5.1- Mercados objetivos: Masivo, Industrial, Automóvil, Espacial, Aeronáutico, Medico,
- 5.2.- Costes de diseño y fabricación. Herramientas. NRE. Yield. Tiempo de test. Otros.
- 5.3.- Modelos de subcontratación. Amortizaciones.

#### Bloque 2: Laboratorio

LAB- Concepción, Diseño, Verificación y Simulación de una Estructura Simple.  
Cubre los aspectos siguientes:

- Se realiza un diseño previo a partir de una planificación y especificación
- Repaso de conceptos de diseño analógico y digital a nivel transistor CMOS
- Uso de software de diseño de circuitos integrados Open Source: Electric
- Captura y simulación de sistemas con Spice

- Diseño y creación de bloques básicos. Verificación (DRC, ERC, LVS)
- Creación de layout
- El diseño es individual
- Se presentará una memoria final del proyecto
- Se realizará una defensa oral en clase

## METODOLOGÍA DOCENTE

### Aspectos metodológicos generales de la asignatura

Con el fin de conseguir el desarrollo de competencias propuesto, la materia se desarrollará teniendo en cuenta la actividad del alumno como factor prioritario. Ello implicará que tanto las sesiones presenciales como las no presenciales promoverán la implicación activa de los alumnos en las actividades de aprendizaje.

### Metodología Presencial: Actividades

1. **Lección expositiva:** El profesor explicará los conceptos fundamentales de cada tema incidiendo en lo más importante y a continuación se explicarán una serie de problemas tipo, gracias a los cuáles se aprenderá a identificar los elementos esenciales del planteamiento y la resolución de problemas del tema.
2. **Resolución en clase de problemas propuestos:** En estas sesiones se explicarán, corregirán y analizarán problemas análogos y de mayor complejidad de cada tema previamente propuestos por el profesor y trabajados por el alumno.
3. **Prácticas de laboratorio.** Se realizará de forma individual y en ellas los alumnos ejercitarán los conceptos y técnicas estudiadas, familiarizándose con el entorno material y humano del trabajo en el laboratorio.
4. **Tutorías** se realizarán en grupo e individualmente para resolver las dudas que se les planteen a los alumnos después de haber trabajado los distintos temas. Y también para orientar al alumno en su proceso de aprendizaje.

### Metodología No presencial: Actividades

1. Estudio individual y personal por parte del alumno de los conceptos expuestos en las lecciones expositivas.
2. Preparación de las prácticas.
3. Resolución grupal de problemas y esquemas de los conceptos teóricos.

El objetivo principal del trabajo no presencial es llegar a entender y comprender los conceptos teóricos de la asignatura, así como ser capaz de poner en práctica estos conocimientos para resolver los diferentes tipos de problemas.

RESUMEN HORAS DE TRABAJO DEL ALUMNO			
HORAS PRESENCIALES			
Lección magistral	Resolución de problemas	Prácticas laboratorio	Evaluación
12	4	10	4
HORAS NO PRESENCIALES			
Trabajo autónomo sobre contenidos teóricos	Trabajo autónomo sobre contenidos prácticos	Realización de trabajos colaborativos	Estudio
10	35	5	10
CRÉDITOS ECTS: 6 (90 horas)			

## EVALUACIÓN Y CRITERIOS DE CALIFICACIÓN

Actividades de evaluación	Criterios de evaluación	PESO
Realización de exámenes: <ul style="list-style-type: none"><li>Examen</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Comprensión de conceptos.</li><li>- Aplicación de conceptos a la resolución de problemas prácticos.</li><li>- Análisis e interpretación de los resultados obtenidos en la resolución de problemas.</li><li>- Presentación y comunicación escrita.</li></ul>	30%
Para aprobar la asignatura los alumnos tienen que tener al menos 5 puntos sobre 10 en el examen final de la asignatura.		
Realización de pruebas de seguimiento <ul style="list-style-type: none"><li>Pruebas realizadas en clase las semanas 8 y 12.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Comprensión de conceptos.</li><li>- Aplicación de conceptos a la resolución de problemas prácticos.</li><li>- Análisis e interpretación de los resultados obtenidos en la resolución de problemas.</li></ul>	20%
Laboratorio	<ul style="list-style-type: none"><li>- Comprensión de conceptos.</li><li>- Aplicación de conceptos a la resolución de problemas prácticos y a la realización de prácticas en el laboratorio.</li><li>- Análisis e interpretación de los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio.</li><li>- Capacidad de trabajo en grupo.</li></ul>	50%

### Calificaciones.

#### Calificaciones

La evaluación del alumno consta de dos partes: teoría y laboratorio. Para evaluar la teoría se realizarán las siguientes pruebas:

Evaluación de conocimientos teóricos (50 %)

1. Pruebas tipo problema o caso práctico de evaluación parcial (20%). Se valorará tanto el procedimiento elegido para la resolución del problema, como los resultados numéricos y metodológicos de diseño, que, aunque pudieran ser incorrectos, han de ser coherentes y lógicos.

2. Examen final tipo problema o caso práctico de evaluación final (30%). Se valorará tanto el procedimiento elegido para la resolución del problema, como los resultados numéricos y metodológicos de diseño, que, aunque pudieran ser incorrectos, han de ser coherentes y lógicos.

Evaluación del trabajo experimental (50 %)

1. Prácticas de diseño (50 %). Se valorará el trabajo previo de especificación, la calidad de los resultados y la metodología seguida. Las prácticas se harán en grupos/equipos de varias personas.

**Nota muy importante:** En la convocatoria extraordinaria el alumno se examinará de toda la materia. El examen podrá comprender teoría y laboratorio.



La asistencia a clase es obligatoria, según el artículo 93 de las Normas Académicas de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI). Los requisitos de asistencia se aplicarán de forma independiente para las sesiones de teoría y de laboratorio.

- En el caso de las sesiones de teoría, el incumplimiento de esta norma podrá impedir presentarse a examen en la convocatoria ordinaria.

- En el caso de las sesiones de laboratorio, el incumplimiento de esta norma podrá impedir presentarse a examen en la convocatoria ordinaria y en la extraordinaria. En cualquier caso, las faltas no justificadas a sesiones de laboratorio serán penalizadas en la evaluación.

## PLAN DE TRABAJO Y CRONOGRAMA<sup>2</sup>

Actividades No presenciales	Fecha de realización	Fecha de entrega
• Lectura y estudio de los contenidos teóricos en la documentación aportada	Después de cada clase	
• Resolución de los problemas propuestos	Semanalmente	
• Preparación de las pruebas que se realizarán durante las horas de clase	Semanas 8 y 12	
• Preparación de Examen Final	Mayo	
• Elaboración del proyecto de laboratorio	Semanalmente	Última semana

Para el curso 2017-2018, la distribución orientativa<sup>2</sup> de contenidos, práctica y pruebas de control es como muestra la siguiente tabla:

Semana	Parte 1 (8:00 - 8:50)	Parte 2 (9:00 - 9:50)
1 (15 Ene 18)	Course Info / Introduction to ICs	Introduction to ICs
2 (22 Ene 18)	CMOS Technology	CMOS Technology
3 (29 Ene 18)	CMOS Manufacturing	CMOS Design Basics
4 (5 Feb 18)	CMOS Design Basics	Lab 1
5 (12 Feb 18)	CMOS Digital Design	Lab 2
6 (19 Feb 18)	CMOS Digital Design	Lab 3
7 (26 Feb 18)	Problems 1	Lab 4
8 (5 Mar 18)	Control 1	Lab 5
9 (12 Mar 18)	CMOS Analog Design	Lab 6
10 (19 Mar 18)	CMOS Analog Design	Lab 7
11 (2 Abr 18)	Problems 2	Lab 8
12 (9 Abr 18)	Control 2	Lab 9
13 (16 Abr 18)	CMOS System/Chip Design	Lab 10
14 (23 Abr 18)	Problems 3	Problems 4

Nota: el Examen Final tendrá lugar en Mayo.

---

<sup>2</sup> En la ficha resumen se encuentra una planificación detallada de la asignatura. Esta planificación tiene un carácter orientativo y las fechas podrán irse adaptando de forma dinámica a medida que avance el curso.

## **BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS**

### **Bibliografía Básica**

- N. Weste, D. Harris: "CMOS VLSI Design: A Circuits and Systems Perspective". Addison Wesley/Pearson, 4th Edition, 2011.
- J.M. Rabaey: "Digital Integrated Circuits - A Design Perspective". Prentice Hall, 2nd Ed., 1996.
- R.J. Baker: "CMOS Circuit Design, Layout and Simulation". Wiley, 3rd Edition, 2010.
- B. Razavi: "Design of Analog CMOS Integrated Circuits". McGraw-Hill Edition, International Edition, 2001.
- T.C. Carusone, D.A. Johns, K.W. Martin: "Analog Integrated Circuit Design". Wiley, 2nd Ed, 2012.

### **Bibliografía Complementaria**

- A. Sedra, K. Smith: "Microelectronics circuits". Oxford University Press, 2011.
- P.R. Gray, R.G. Meyer: "Analysis and Design of Analog Integrated Circuits". John Wiley & Sons, 3rd Ed., 1993.

## **FICHA RESUMEN**

Ver páginas siguientes.