



# Guía docente

## 300022 - CSD - Circuitos y Sistemas Digitales

Última modificación: 06/06/2024

**Unidad responsable:** Escuela de Ingeniería de Telecomunicación y Aeroespacial de Castelldefels  
**Unidad que imparte:** 710 - EEL - Departamento de Ingeniería Electrónica.

**Titulación:** GRADO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN (Plan 2009). (Asignatura obligatoria).  
GRADO EN INGENIERÍA TELEMÁTICA (Plan 2009). (Asignatura obligatoria).  
GRADO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS AEROESPACIALES (Plan 2015). (Asignatura optativa).

**Curso:** 2024      **Créditos ECTS:** 6.0      **Idiomas:** Catalán, Castellano, Inglés

### PROFESORADO

---

**Profesorado responsable:** Definit a la infoweb de l'assignatura.

**Otros:** Definit a la infoweb de l'assignatura.

### CAPACIDADES PREVIAS

---

Los estudiantes deben disponer de los conocimientos del área de tecnología electrónica que se imparten en la asignatura Electrónica en las Telecomunicaciones (1A), tanto de carácter teórico como habilidades en el uso de instrumentación de laboratorio electrónico.

Los estudiantes deben dominar los aspectos básicos del concepto de computador y de su programación, materia que se estudia en las asignaturas de Introducción a los Ordenadores (1B) y Proyecto de Programación (1B).

Es muy conveniente que los estudiantes hayan practicado habilidades genéricas como las que se introducen en los cuatrimestres 1A y 1B, especialmente el trabajo en grupo, el aprendizaje autónomo y la comunicación oral y escrita.

### REQUISITOS

---

ELECTRÒNICA EN LES TELECOMUNICACIONS - Prerequisit

### COMPETENCIAS DE LA TITULACIÓN A LAS QUE CONTRIBUYE LA ASIGNATURA

---

#### Específicas:

1. CE 14 TELECOM. Capacidad de análisis y diseño de circuitos combinacionales y secuenciales, síncronos y asíncronos, y de utilización de microprocesadores y circuitos integrados. (CIN/352/2009, BOE 20.2.2009)
2. CE 15 TELECOM. Conocimiento y aplicación de los fundamentos de lenguajes de descripción de dispositivos de hardware. (CIN/352/2009, BOE 20.2.2009)

#### Genéricas:

3. GESTIÓN DE PROYECTOS - Nivel 1: Conocer herramientas de gestión de proyectos llevando a cabo las diferentes fases del proyecto establecidas por el profesor.
4. USO EFICIENTE DE EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN - Nivel 1: Utilizar correctamente instrumental, equipos y software de los laboratorios de uso general o básicos. Realizar los experimentos y prácticas propuestos y analizar los resultados obtenidos.

#### **Transversales:**

5. APRENDIZAJE AUTÓNOMO - Nivel 1: Llevar a cabo tareas encomendadas en el tiempo previsto, trabajando con las fuentes de información indicadas, de acuerdo con las pautas marcadas por el profesorado.
6. COMUNICACIÓN EFICAZ ORAL Y ESCRITA - Nivel 1: Planificar la comunicación oral, responder de manera adecuada a las cuestiones formuladas y redactar textos de nivel básico con corrección ortográfica y gramatical.
7. TRABAJO EN EQUIPO - Nivel 1: Participar en el trabajo en equipo y colaborar, una vez identificados los objetivos y las responsabilidades colectivas e individuales, y decidir conjuntamente la estrategia que se debe seguir.
8. TERCERA LENGUA: Conocer una tercera lengua, que será preferentemente inglés, con un nivel adecuado de forma oral y por escrito y en consonancia con las necesidades que tendrán las tituladas y los titulados en cada enseñanza.

## **METODOLOGÍAS DOCENTES**

---

La asignatura se centra en el aprendizaje cooperativo (AC) y el aprendizaje basado en problemas o proyectos (ABP). Es decir, el estudiante trabaja en grupo base durante todo el cuatrimestre para realizar los diseños que debe entregar en las fechas determinadas siguiendo los criterios de calidad (rúbricas) y el plan de trabajo establecidos. El énfasis de la docencia se concentra en lo que hace el estudiante trabajando reiteradamente la misma metodología de resolución de proyectos: especificación, planificación, desarrollo y verificación final del producto mediante simuladores o tarjetas de entrenamiento; y en la corrección de los materiales elaborados.

El formato de la clase presencial en el aula (grupo grande) es el tradicional, donde el profesor presenta la teoría y discute las especificaciones y la planificación del problema o proyecto a resolver conjuntamente con los estudiantes. También tiene la función de dar soporte a la elaboración de proyectos y orientación en el trabajo autónomo: búsqueda de información, lectura de materiales de estudio, identificación del problema, organización del plan de trabajo, distribución de tareas entre los miembros del grupo, tutoriales de uso del software o instrumentos de laboratorio, discusión de los materiales y documentos producidos, reflexión sobre el funcionamiento y rendimiento del grupo cooperativo, etc.

La sesión de laboratorio (grupo pequeño), consiste en desarrollar y verificar problemas y tutoriales aprendiendo el uso de las herramientas EDA, siguiendo la secuencia de diseño de circuitos electrónicos, aplicando metodologías docentes de trabajo en grupo cooperativo.

Debemos remarcar especialmente que el trabajo semanal autónomo fuera del aula es imprescindible para llevar a cabo las tareas y finalizar los proyectos y su documentación con la calidad requerida.

El inglés es la lengua usada en clase y en las tutorías, así como la de los materiales de estudio, libros y referencias (teaching content through English), con el objetivo de favorecer el despliegue de la competencia en dicha lengua.

Se encuestará a los estudiantes para que valoren el funcionamiento del curso y la labor docente con el objetivo de detectar desajustes y puntos de mejora.

## OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

---

Al finalizar la asignatura el estudiante debe ser capaz de:

- Trabajar en equipo para: especificar, planificar, desarrollar y verificar proyectos, realizar el seguimiento del tiempo de estudio y resolver conflictos de grupo.
- Buscar y analizar de forma autónoma información y materiales para elaborar proyectos y resolver problemas, preferentemente en inglés, en bibliotecas y en internet.
- Redactar trabajos elaborando documentación escrita a mano o con procesador de textos, siguiendo indicaciones y criterios de calidad especificados en las plantillas de la asignatura, usando bocetos, esquemas, diagramas, herramientas gráficas, correctores de texto, gestores de proyectos, etc.
- Analizar y simular funciones lógicas mediante diagramas y lenguaje de descripción de hardware (VHDL), usando software específico (algoritmo Espresso, simuladores lógicos, etc.) y herramientas de automatización de diseño electrónico (EDA).
- Explicar las características básicas de la tecnología de los circuitos digitales: voltajes, niveles de ruido, retardos de propagación, consumo de potencia, etc.
- Implementar circuitos combinacionales y máquinas de estados finitos (FSM) para dispositivos lógicos programables CPLD y FPGA, basados en arquitecturas jerarquizadas de componentes usando VHDL y las herramientas EDA asociadas al proceso de diseño y simulación de circuitos electrónicos.
- Diseñar, simular e implementar un procesador dedicado de mediana complejidad basado en una unidad operativa o datapath (registros de operandos y ALU) y una unidad de control (FSM).
- Clasificar los microcontroladores comerciales según arquitectura y capacidad de cálculo, explicar sus aplicaciones más usuales en el contexto de los sistemas incrustados sencillos (small embedded systems) y describir el conjunto de herramientas de software y hardware asociadas al flujo de diseño propio de cada fabricante.
- Diseñar, simular e implementar proyectos basados en microcontrolador con lenguaje C, planificados con estilo de FSM y usando técnicas básicas de E/S e interrupciones, mediante las herramientas específicas EDA para seguir el flujo de diseño propuesto por el fabricante (Microchip, Texas Instruments, etc.)
- Realizar la presentación oral de uno de los proyectos desarrollados durante el curso preparando los materiales necesarios y siguiendo las indicaciones de la plantilla.

## HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTADO

---

Tipo	Horas	Porcentaje
Horas grupo pequeño	26,0	17.33
Horas aprendizaje autónomo	84,0	56.00
Horas grupo grande	40,0	26.67

**Dedicación total:** 150 h

## CONTENIDOS

### Capítulo 1: Circuitos combinacionales

**Descripción:**

- Sistemas de numeración, operaciones lógicas y aritméticas, códigos binarios para representar información.
- Circuitos con funciones lógicas, símbolo, álgebra de Boole, puertas lógicas, minterms, maxterms, suma de productos, producto de sumas, tabla de verdad.
- Simplificación de funciones lógicas (algoritmo Espresso).
- Características eléctricas de los circuitos digitales según tecnología (niveles lógicos, márgenes de ruido, tiempo de propagación, potencia disipada, puertas tri-state).
- Componentes combinacionales (multiplexores, decodificadores, etc.) y aritméticos (sumadores, comparadores, etc.) estándar.
- Proceso de diseño de circuitos combinacionales en lenguaje VHDL usando herramientas EDA comerciales (Intel, Xilinx, Lattice Semiconductor, etc.): especificación, planificación, síntesis en chips programables sPLD/CPLD/FPGA, y simulación funcional y a nivel de puestas (Active-HDL, ModelSim, Xilinx ISim, etc.) mediante banco de pruebas (test bench).
- Caracterización y medidas en circuitos combinacionales: retardos de propagación, máxima frecuencia de operación, potencia absorbida, comparativa de diseños alternativos, etc.

**Actividades vinculadas:**

- Problemas y tutoriales del capítulo 1.

**Dedicación:** 44h

Grupo grande/Teoría: 12h

Grupo pequeño/Laboratorio: 8h

Aprendizaje autónomo: 24h

## Capítulo 2: Sistemas secuenciales

### Descripción:

- El concepto y especificación de un sistema secuencial: símbolo, diagrama de estados, cronograma, descripción funcional.
- Celda de memoria asíncrona de 1 bit (latches RS y D). Aplicación en circuitos temporizadores, de reloj y memorias de datos.
- Celda de memoria síncrona de 1 bit (flip-flops RS, JK, D y T).
- Estructura general de una máquina de estados finitos síncrona (FSM): registro de estado, lógica de salidas y lógica de estados.
- Proceso de diseño de circuitos secuenciales en lenguaje VHDL usando herramientas EDA comerciales (Intel, Xilinx, Lattice Semiconductor, etc.): especificación, planificación, síntesis en chips programables sPLD/CPLD/FPGA, y simulación funcional y a nivel de puestas (Active-HDL, ModelSim, Xilinx ISim, etc.) mediante banco de pruebas (test bench).
- Componentes secuenciales estándar (contadores, registros de datos y de desplazamiento). Divisores de frecuencia.
- Concepto y arquitectura de un sistema digital avanzado (procesador digital de información o procesador dedicado) constituido mediante una unidad operativa (datapath) y una unidad de control (FSM).
- Especificación, planificación, desarrollo, simulación y prototipo de un procesador dedicado sencillo (sumador o multiplicador secuencial, controlador de teclado matricial, puerto de comunicación serie asíncrona, reloj de tiempo real, temporizador programable, etc.)
- Caracterización y medidas: retardos de propagación, máxima frecuencia de operación, frecuencia de reloj (CLK), potencia absorbida, comparativa de diseños alternativos, etc.

### Actividades vinculadas:

- Problemas y tutoriales del capítulo 2.

### Dedicación: 50h

Grupo grande/Teoría: 12h

Grupo pequeño/Laboratorio: 8h

Aprendizaje autónomo: 30h



### Capítulo 3: Microcontroladores

#### Descripción:

- Introducción al uso y diseño de aplicaciones basadas en microcontroladores comerciales.
- La unidad central de proceso (CPU). Sistema digital dedicado microprogramado (implementación de ecuaciones lógicas con memorias) capaz de realizar diferentes micro-operaciones usando el mismo hardware.
- Evolución de los procesadores dedicados hasta la arquitectura de un sistema microprocesador (unidad de procesamiento, memorias de datos y programa). El microcontrolador: integración del sistema microprocesador en un único chip con subsistemas periféricos de soporte.
- Arquitectura de un microcontrolador comercial (PIC, ATmega de Microchip, MPS430 de Texas Instruments, etc.). Comparativa con entornos similares (Arduino, Raspberry Pi, etc.)
- Secuencia de diseño de una aplicación con chips comerciales: entorno integrado y herramientas de desarrollo, código fuente en lenguaje C, compilación, simulación mediante laboratorio virtual Proteus-VSM , tarjetas de entrenamiento y prototipo.
- Estilo de programación en lenguaje C según arquitectura FSM: se condiciona la programación a un estilo predeterminado que emula la estructura de una FSM con la finalidad de dar continuidad y profundizar en los contenidos de los capítulos anteriores (además de facilitar la detección de errores -debugging-, la fiabilidad y la auto-evaluación).
- Lectura o adquisición de señales de entrada digitales -nivel- (polling). Detección de cambios de nivel -transición- (interrupciones). Activación o escritura de salidas digitales.
- Periféricos contadores y temporizadores. Concepto de tiempo real y uso del cristal de cuarzo como reloj de sincronización y base de tiempos.
- Otros subsistemas periféricos. Interfaces para señales analógicas: convertidores A/D y D/A; módulo PWM, visualizador LCD, memoria de datos no volátil EEPROM, USART de comunicación serie asíncrona, comunicación síncrona entre chips: I2C y SPI, etc.

#### Actividades vinculadas:

- Problemas y tutoriales del capítulo 3.
- Presentación oral de un proyecto. Los grupos cooperativos realizarán la actividad de presentación oral de uno de los proyectos diseñados durante el curso. La duración será de 10 minutos por grupo y para esta prueba deberán haber preparado materiales como transparencias, gráficos o pósteres. La presentación oral se evaluará directamente por el profesor o también con pruebas de evaluación cruzada entre grupos cooperativos. Se suministrará una rúbrica con los elementos a tener en cuenta, en la cual el uso del inglés puntuará especialmente.

#### Dedicación: 56h

Grupo grande/Teoría: 16h

Grupo pequeño/Laboratorio: 10h

Aprendizaje autónomo: 30h

## ACTIVIDADES

### Tutoriales y proyectos

#### Descripción:

Problemas de diseño de aplicaciones relacionadas con la materia de sistemas digitales. Se trabajan en grupo cooperativo y representan la actividad principal de CSD, la que conlleva el aprendizaje de contenidos específicos y la puesta en práctica de las habilidades genéricas. Los problemas, la mayoría de los cuales duran una o dos semanas, se trabajan tal como se ha explicado, en clase, fuera de ella y en las sesiones de laboratorio con el soporte del profesor.

La metodología propuesta basada en AC y ABP, obliga a que para un correcto aprendizaje y seguimiento de la materia, el estudiante deba asistir a clase.

La solución de los problemas también incluye la anotación del tiempo empleado en su realización, la descripción y distribución de tareas entre los miembros del grupo, una propuesta de valoración del ejercicio y la firma del equipo cooperativo con el compromiso del trabajo realizado honestamente.

Debemos remarcar que la secuencia de problemas ABP que se propone no permite la resolución aislada de alguno de ellos, sino que estos están preparados concienzudamente para encadenar conceptos y construir el conocimiento específico paso a paso. Para resolver un ejercicio determinado se deben haber resuelto todos los anteriores. Por tanto, no es recomendable saltarse temas o dejar la asignatura temporalmente para retomarla más adelante. El único camino posible que ofrece esta metodología es seguir la secuencia de problemas, entregando los materiales en la fecha establecida para permitir la revisión, discusión y mejora continua.

Los problemas propuestos son de carácter práctico, organizados para que funcionen, más cerca del mundo real que de la academia, con el propósito de reforzar la motivación y el interés de los estudiantes por esta materia tan presente en la vida cotidiana. El estudiante aprende a diseñar visualizadores de 7-segmentos o de matrices de LED, selectores de datos, teclados matriciales bloqueados mediante una clave, temporizadores, relojes, autómatas programables para controlar motores o señales de tráfico, subsistemas de transmisión de datos, calculadoras sencillas y otros circuitos parecidos.

Las soluciones que se proponen permiten resolver los problemas usando dispositivos programables y lenguajes de descripción de hardware, o bien, alternativamente, microcontroladores y lenguaje C, de forma que se facilita la comparativa entre tecnologías y circuitos electrónicos. Una lista orientadora descriptiva de los conceptos incluidos en los diseños será la siguiente:

- P1. Análisis de circuitos básicos con puertas lógicas.
- P2. Circuitos combinacionales lógicos estándar.
- P3. Circuitos aritméticos.
- P4. Circuitos combinacionales con múltiples componentes organizados jerárquicamente.
  
- P5. Celdas básicas de memoria, latches y flip-flops.
- P6. Máquinas de estados finitos (FSM).
- P7. Componentes secuenciales estándar: registros y contadores.
- P8. Sistema digital complejo (procesador dedicado).
  
- P9. Entrada/salida en un sistema microcontrolador.
- P10. Interrupciones y FSM en lenguaje C.
- P11. Periféricos: LCD. Proyectos con múltiples ficheros fuente y drivers.
- P12. Periféricos: Temporizadores, A/D, etc.

#### Material:

Material de estudio de la asignatura (apuntes, notes de clase, tutoriales y ejemplos de exámenes y ejercicios de cursos anteriores, etc.), simulador de circuitos electrónicos, instrumentación típica de laboratorio de electrónica digital, software EDA libre y comercial, tarjetas de entrenamiento para el diseño con PLD/FPGA y microcontroladores.

La asignatura dispone de una web en la dirección <http://digsys.upc.edu>, con la cual se accede a los materiales necesarios y al día a día de las clases, con archivo de cursos anteriores y acceso a antiguas asignaturas de la materia de sistemas digitales. Esta web complementa el campus Atenea.

La asignatura cuenta con un blog en Atenea con interacción voluntaria de los estudiantes para proponer preguntas y respuestas.

**Dedicación:** 150h

Aprendizaje autónomo: 84h  
Grupo grande/Teoría: 40h  
Grupo pequeño/Laboratorio: 26h

## SISTEMA DE CALIFICACIÓN

---

Se aplican los criterios de evaluación definidos en la infoweb de la asignatura.

## NORMAS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS.

---

Los trabajos realizados deben entregarse antes de la fecha límite propuesta.

La calificación de cada actividad se establece mediante el uso de plantillas de corrección (rúbricas) que indican los puntos a tener en cuenta y su ponderación.

Los miembros del grupo cooperativo deben haber participado honestamente en su realización haciéndose responsables de todo el material entregado en su nombre. El profesor favorecerá la discusión continua con los grupos cooperativos sobre cualquier aspecto relacionado con los proyectos y su corrección, ya que se considera que el propio acto de evaluación es uno de los puntales del aprendizaje de los contenidos y las competencias.

## BIBLIOGRAFÍA

---

### Básica:

- Roth, C.; Kurian, L. Digital system design using VHDL. 2a ed. Thomson International, 2008. ISBN 0495244708.
- Brown, Stephen D.; Vranesic, Zvonko G. Fundamentals of digital logic with VHDL design [en línea]. 2nd ed. Boston: McGraw-Hill, 2005 [Consulta: 22/11/2023]. Disponible a: <https://ebookcentral-proquest-com.recursos.biblioteca.upc.edu/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?pq-origsite=primo&docID=6843013>. ISBN 0071244824.
- Hwang, E.O. Digital logic and microprocessor design with VHDL. CL-Engineering, 2005. ISBN 0534465935.
- Barnett, R. H.; Cox, S.; O'Cull, L.. Embedded C programming and the Atmel AVR. New York: Thomson Delmar Learning, 2006. ISBN 1418039594.
- Reese, Robert B. Microprocessors : from assembly language to C using the PIC18Fxx2 [en línea]. Massachusetts: Da Vinci Engineering Press, 2005 [Consulta: 15/04/2020]. Disponible a: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?docID=3135953>. ISBN 1584503785.